metros por segundo não parece ter justificação.

No caso da fotografia do descarregador auxiliar de cheias da barragem de Marèges (fig. 2) vê-se que a entrada de ar em tôda a largura só se verifica no extremo de jusante, onde a velocidade da água deve ser aproximadamente de 27 metros por segundo; notam-se, é certo, uns traços brancos indicando arrastamentos de ar em tôda a altura, mas êsses são devidos aos atritos nas paredes laterais e às perturbações do escoamento produzidas pelos pilares.

Mostra o grande interêsse dêste problema o facto de vários laboratórios americanos se ocuparem presentemente dêle, fazendo ensaios e observações tanto em canais de grande inclinação como em barragens funcionando como descarregador de superfície. Um resumo muito sucinto dêstes trabalhos encontra-se na revista «Civil Engineering» de Março de 1940, a pag. 186, e diz-se que os resultados parciais já obtidos serão publicados brevemente, antes de se prosseguirem as investigações.

De entre estes trabalhos os mais interessantes são talvez os ensaios levados a efeito por C. W. Thomas em Kittitas, num canal de descarga com um desnível total de $103^{m},7$ e uma inclinação máxima de 33° 10'. Foram ensaiados caudais desde 2,52 até 28,14 metros cúbicos por segundo, variando o valor do raio médio de 0,5 a 1,7. As velocidades foram medidas pelo processo electro-químico. *Verificou-se que as velocidades aumentavam com as alturas de água tendo-se registado uma velocidade máxima de 34 metros por segundo; neste caso a percentagem de ar em emulsão na água elevava-se a 63 %.*

## Entrada de ar na água

A descrição de alguns fenómenos e experiências vai-nos fornecer indicações interessantes sôbre a forma como se faz a entrada de ar na água.

As experiências que a seguir se descrevem poderão parecer de compêndio de física elementar e não próprias para figurar num estudo sério de hidráulica mas, apesar da sua simplicidade, elas são muito elucidativas e quási indispensáveis.

O arrastamento de ar pelas gotas de água é conhecido desde longa data. Mariotte falava dêste fenómeno nos seguintes termos:

«Cada gota de chuva caindo da altura das nuvens arrasta uma quantidade de ar igual a duas ou três vezes o seu volume; isto prova-se pela experiência que consiste em deixar cair na água uma pequena bala de chumbo. Quando ela toca no fundo vêem-se subir na água duas ou três bôlhas de ar de dimensões iguais à da bala, as quais só podem provir do ar que acompanhou a bala até ao fundo da água».

Se nesta experiência a altura de queda da bala fôr muito pequena, quando ela toca no fundo não se desprendem bôlhas de ar, logo, para uma velocidade da bala muito pequena não há arrastamento de ar.

O arrastamento de ar, no primeiro caso, parece explicar-se pela seguinte forma: a esfera ao entrar na água (fig. 3) produz uma pequena cavidade que se fecha depois pela parte superior formando-se uma bôlsa de

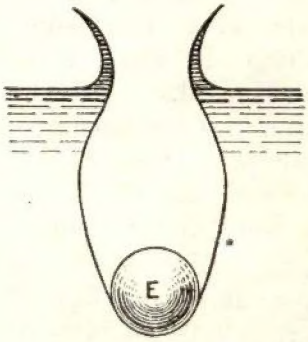



Fig. 3

ar que acompanha a esfera até ao fundo (em água pouco profunda). [1]

[1] Dá-se um fenómeno semelhante na construção de barragens de betão em que êste é pôsto em obra por meio de caleiras. Se a altura da queda é grande o betão desagrega-se, caindo a brita sôlta com uma certa velocidade sôbre a massa fluída arrastando consigo bolhas de ar, as quais formam depois pequeninos chochos no betão fazendo-lhe baixar o grau de impermeabilidade. São estas as razões por que os cadernos de encargos fixam geralmente a altura máxima da queda livre do betão em $1^{m},5$.

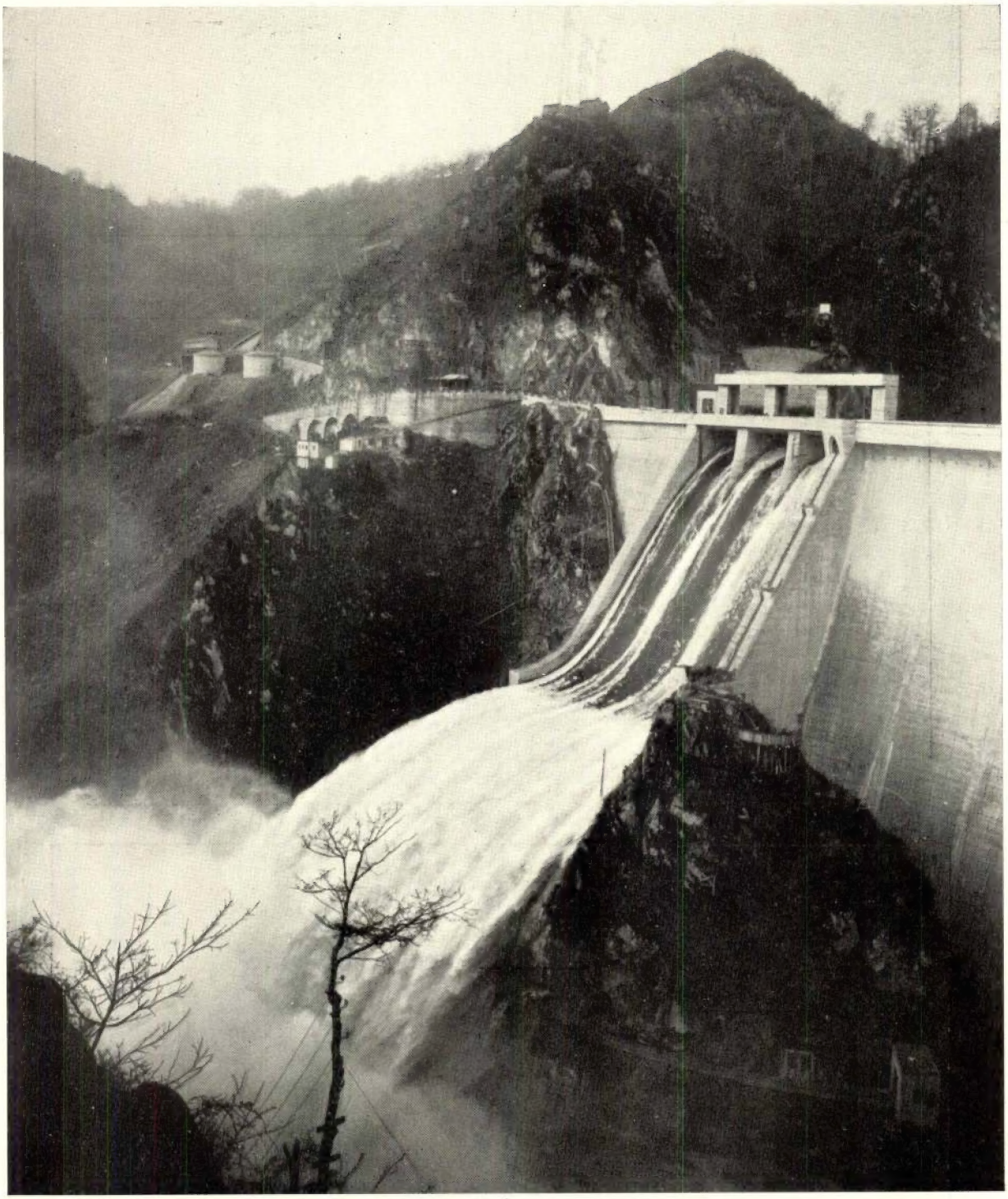


Fig. 2 — Evacuador auxiliar de cheias da barragem de Marèges

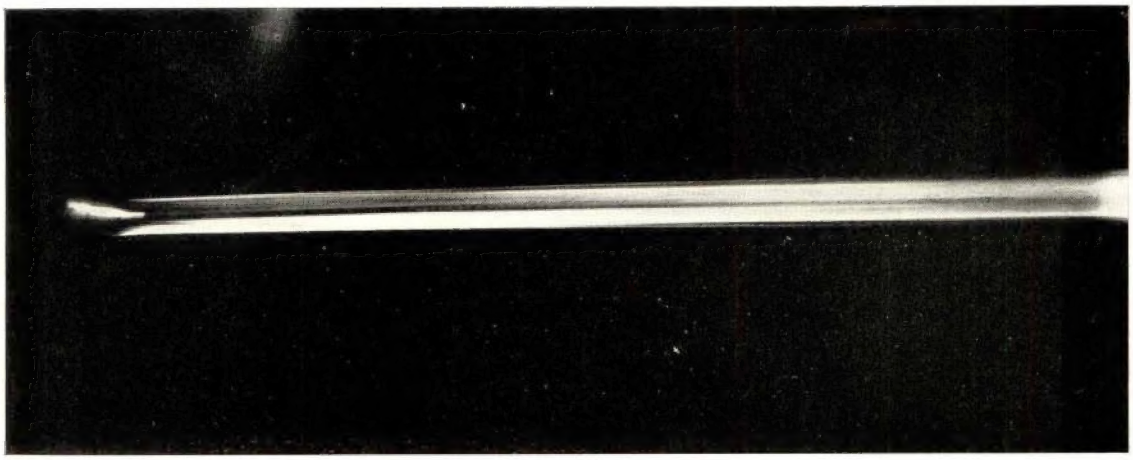


Fig. 7 — Jacto de um injector de uma turbina Pelton

Fig. 8 — Jacto saído de uma válvula de agulha — Descarga de fundo da barragem de Chambon

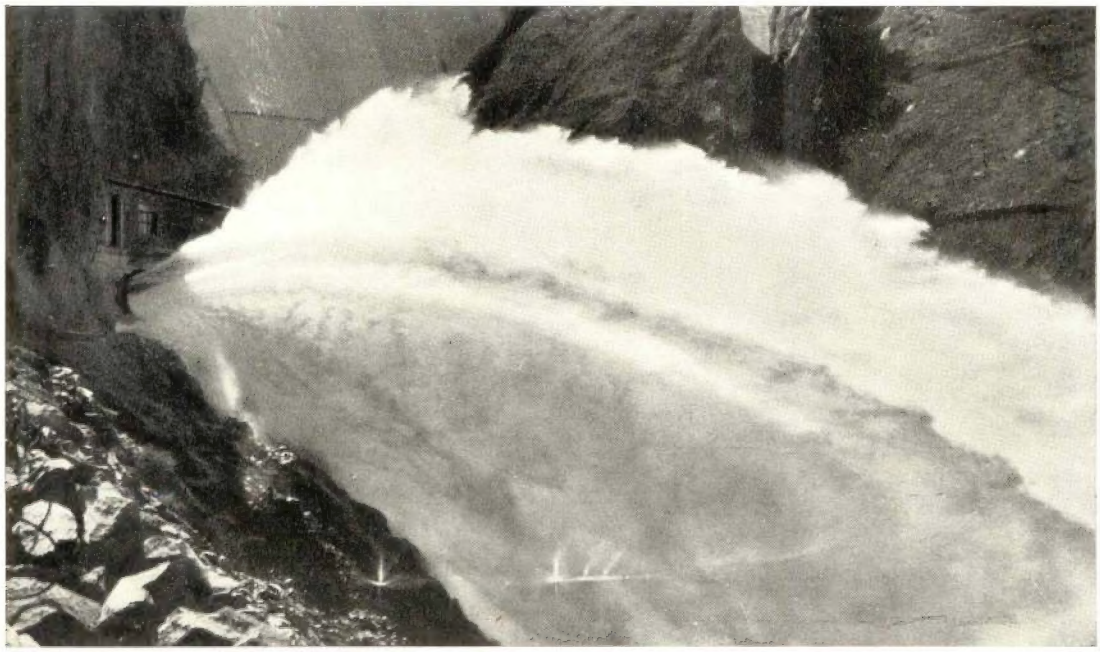


Fig. 9 — Descarga de uma válvula de borboleta — Barragem de Chambon

No segundo caso a velocidade é muito pequena, não se formando a bôlsa de ar.

Todos nós fizemos esta experiência, atirando pedras para dentro de água.

Mais tarde Melsens afirmava que, se a velocidade da bala fôr suficientemente grande (superior por exemplo à velocidade do som), entra na água uma certa parte do ar que a precede. Outras experiências realizadas por Melsens provam que pode haver arrastamento de ar mesmo para velocidades pequenas. Estas consistiam em deixar cair na água um cone de latão, por forma a que o vértice entrasse primeiro na água; para alturas de queda de 1 a 8 metros não se registava entrada de ar na água. Depois cortou a ponta do cone, sendo a superfície que entrava primeiro na água plana ou esférica, e verificou que, para as mesmas alturas de queda, se dava arrastamento de ar.

*Estas experiências mostram que a entrada de ar na água se faz por um mecanismo semelhante, até certo ponto, ao de um efeito de bombagem, e ainda que não são só as velocidades que intervêm, mas também as formas.*

Vejamos agora uma outra experiência, que consiste na entrada de um jacto de água vertical num recipiente contendo água tranqüila.

Antes de entrar pròpriamente na descrição desta experiência, vou dizer algumas palavras sôbre jactos verticais provenientes de orifícios feitos no fundo de um vaso contendo água (orifício em parede delgada). Se o orifício fôr rigorosamente circular (o que é difícil de obter pràticamente) o jacto é estável, tendo uma secção circular cujo diâmetro deminue progressivamente à medida que a velocidade de queda aumenta; isto, é claro, se a carga sôbre o orifício fôr relativamente pequena ou, por outras palavras, se a velocidade à saída do orifício fôr inferior à da queda livre. O jacto será, nestas condições, ligeiramente cónico, mas estável até uma certa distância do orifício, a partir da qual se divide em vários jactos e, se a altura de queda fôr grande, êsses jactos transformam-se progressivamente em outros mais delgados e finalmente em gotas.

Se o orifício não fôr rigorosamente circular, a tensão superficial tende a dar à secção do jacto o perímetro mínimo, que corresponde à secção circular; produzem-se assim mudanças de secção, oscilando à volta da forma circular. Nota-se muito bem esta periodicidade de mudança de secção em jactos saídos de orifícios rectangulares, triangulares, cruciformes, etc.

Tomaremos por exemplo o caso de um jacto saído de um orifício quadrado. Um pouco abaixo do orifício a secção do jacto é cruciforme e é a partir desta secção que o fenómeno periódico se produz.

A inversão da forma (fig. 4) consiste na passagem da cruz tendo por eixos *aa* a uma cruz com os braços nas direcções *bb*. Numa fase intermédia, correspondente a um quarto de período, a secção apresenta o aspecto de uma estrêla de oito pontas. As amplitudes dêstes braços vão deminuindo até que a secção passa a oscilar à volta da forma circular de equilíbrio.

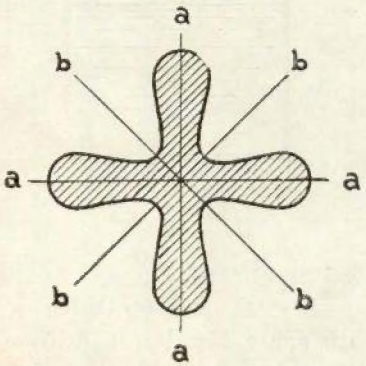


Fig. 4

Vê-se assim que os jactos de água têm quási sempre superfícies um pouco irregulares, apresentando como que caneluras ou estrias.

Fiz algumas experiências com um aparelho simples (fig. 5) constituído por um tubo de vidro vertical de $0^m,10$ de diâmetro e $1^m,20$ de comprimento, com o fundo em latão no centro do qual se abriu um orifício biselado de $0^m,005$ de diâmetro (orifício em parede delgada) e por um vaso de vidro contendo água tranqüila. O tubo enchia-se de água deixando-se em seguida esvaziar

pelo orifício do fundo; formava-se assim um jacto vertical que caía na água contida no vaso de vidro. Para uma distância $l \simeq 0^m,60$ verificava-se de início que o jacto era estável em tôda a altura, entrando na água sem arrastar ar. Quando o tubo estava

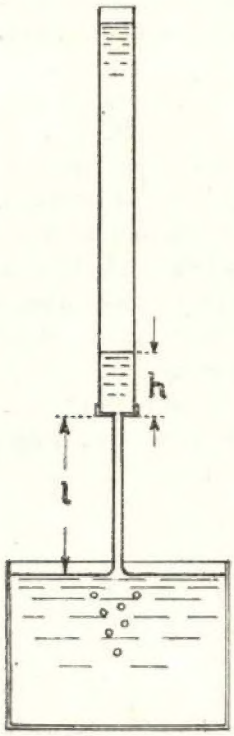



Fig. 5

quási despejado, sendo a carga sôbre o orifício $h \simeq 0^m,10$, a parte inferior do jacto deixava de ser estável notando-se a partir dêsse momento uma forte entrada de ar na água. Repetindo a experiência variando a distância $l$, verifica-se que quando $l$ aumenta, a carga $h$ sôbre o orifício, a partir da qual se regista arrastamento de ar, aumenta também.

*Estas experiências mostram que o arrastamento de ar depende essencialmente da forma do jacto e que êle se pode dar para velocidades bastante pequenas.* Quando o jacto é estável, apresentando uma superfície perfeitamente lisa e regular não se dá arrastamento de ar. Mas se o jacto é instável, apresentando mudanças de secção ou caneluras, estas dão origem a arrastamento de ar, o que se compreende bem olhando para a fig. 6. Êste é o caso do jacto apresentar mudança de secção. Entre as secções $AA_1$ e $BB_1$ forma-se uma bôlsa de ar que se fecha quando a secção $BB_1$ entra na água, ou um pouco antes. Acontece uma coisa semelhante no caso de o jacto apresentar caneluras.

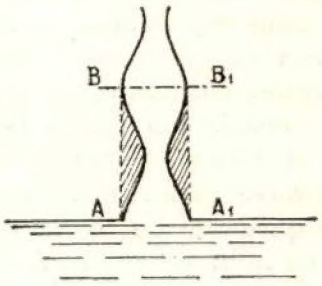



Fig. 6

O que se acaba de dizer só é aplicável a jactos com velocidades relativamente pequenas. *Nos jactos de água com grandes velocidades o atrito do ar tem uma acção importante, deixando êles de ser estáveis muito ràpidamente:* é o caso do jacto saído de uma agulheta contra incêndios. Ainda neste caso não é apenas a velocidade mas também o diâmetro e principalmente a forma do orifício que intervêm na estabilidade do jacto. Como exemplo típico da influência da forma temos os três casos das figuras 7, 8 e 9. A figura 7 é a fotografia de um jacto saído do injector de uma turbina Pelton, com uma velocidade de 37 metros por segundo. A figura 8 é a fotografia de um jacto saído de uma válvula de agulha (descarga de fundo da barragem de Chambon), com uma velocidade de saída de 42 metros por segundo. A figura 9 é a fotografia da descarga por uma válvula borboleta (barragem de Chambon) com uma velocidade de saída de 37 metros por segundo.

Comparando estes diferentes jactos vê-se que, para igualdade de velocidades (fig. 7 e 9), o do injector da turbina Pelton é estável em todo o comprimento, perfeitamente liso, não arrastando portanto ar, e que da válvula borboleta não sai um jacto único mas sim vários jactos arrastando uma grande quantidade de ar.

A comparação entre a figura 7 e 8 tam-

bém é interessante, a-pesar-de a válvula de agulha estar apenas parcialmente aberta, por os dispositivos de saída tanto num como noutro caso serem análogos; no primeiro caso as formas foram cuidadosamente estudadas para se obter um jacto unido e liso de maneira a reduzir as perdas de energia ao mínimo, enquanto que no segundo caso as formas são propositadamente diferentes com o fim de se dar uma forte perda de energia antes de a água chegar ao contacto com o terreno.

Uma outra experiência muito interessante consiste em provocar um ressalto e observar a forma como se faz a entrada de ar no ressalto. Para fazer esta experiência utilizei um modêlo reduzido de uma barragem descarregador, instalado num canal com parede de vidro; na restituïção a jusante forma-se um ressalto contendo bastantes bôlhas de ar.

A entrada de ar faz-se sempre na linha onde começa o ressalto, explicando-se ela da seguinte forma:

A lâmina transbordante apresenta caneluras instáveis, mesmo se a superfície do descarregador fôr absolutamente desempenada. Essas caneluras são devidas a correntes secundárias. No caso das experiências que realizei notavam-se duas fortes caneluras, uma próximo de cada parede, que

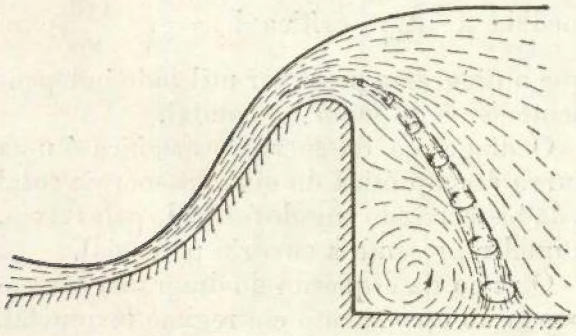


Fig. 10

correspondiam a vórtices com o aspecto da figura 10. Êstes vórtices e, conseqüentemente as caneluras, eram muito instáveis.

Notavam-se ainda caneluras de menor importância em tôda a largura do descarregador, que oscilavam constantemente para um e outro lado, desaparecendo por vezes. Devido a estas correntes secundárias a lâmina transbordante é instável, o que provoca pequenas oscilações no ressalto; êste começa umas vezes ligeiramente mais a jusante outras mais a montante, de $A_1$ a $A_2$ na figura 11. Quando se dá uma oscilação do ressalto de jusante para montante a água cobre as caneluras formando-se pequenas bôlsas de ar, o qual se mistura depois com a água. Isto verifica-se fàcilmente provocando caneluras em diferentes pontos da superfície livre da lâmina transbordante. *Desde que se provoca uma canelura nota-se o aparecimento de bôlhas de ar no ressalto, que partem do ponto onde a canelura atinge o ressalto.* Essas bôlhas de ar seguem aproximadamente a linha AB (fig. 11); uma parte das bôlhas volta para montante e as restantes seguem na corrente libertando-se mais a jusante.

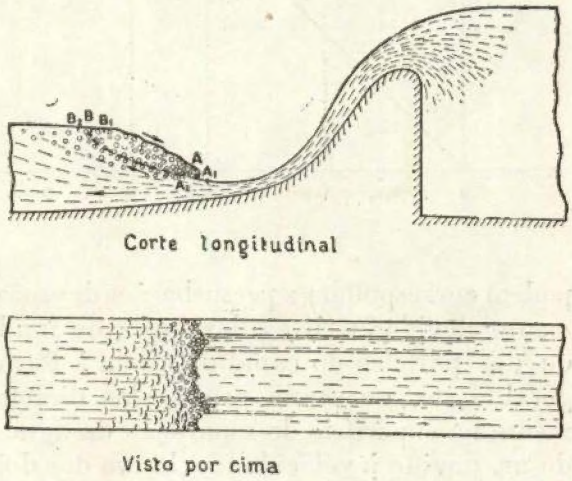



Fig. 11

*Aumentando a espessura da lâmina transbordante verifica-se que as caneluras são menos importantes, dando-se conseqüentemente uma menor entrada de ar no ressalto.*

Destas experiências conclue-se:

*Que se a superfície livre da água fôr perfeitamente lisa não entra ar na água.*

*A maneira como se faz a entrada de ar na água assemelha-se até certo ponto a um efeito de bombagem: as irregularidades da superfície livre da água dão lugar à forma-*

*ção de pequenas bôlsas de ar; quando estas bôlsas se fecham o ar nelas contido divide-se em pequenas bôlhas que se misturam com a água* (1).

Verificando-se que a entrada de ar na água depende das perturbações da superfície livre, há que investigar quais são as causas possíveis dessas perturbações. Elas podem corresponder a perturbações de escoamento devidas a irregularidades do fundo ou das paredes do canal ou ainda à forma geral dêste, ou serem produzidas directamente na superfície de separação da água e do ar, devido à velocidade relativa dos dois fluidos.

## Perturbações da superfície livre correspondentes a perturbações do escoamento

Examinemos em primeiro lugar as perturbações do escoamento produzidas pelas irregularidades do fundo do canal.

(1) No caso particular de arrastamento de ar por vórtice com núcleo de ar as coisas passam-se de outra maneira: a entrada de ar é devida à depressão produzida na superfície livre. Êste caso tem pouco interêsse por, nos problemas usuais da prática, ser relativamente fácil evitar a formação de vórtices que dêem lugar a entrada de ar na água.

Consideremos um canal rectangular de largura igual à unidade, com soleira horizontal e lisa. Para simplificar a exposição supõe-se que o escoamento se faz sem perda de energia; a linha de energia específica constante será assim uma horizontal (fig. 12).

Tracemos o diagrama da energia específica (à esquerda da fig. 12), fazendo coïncidir o eixo das alturas de água $h$ com a soleira do canal; o outro eixo será o da energia total $h + \frac{v^2}{2g}$. Tomemos para unidade de medida a altura crítica $h_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g}}$ para que o diagrama possa ser utilizado independentemente do valor do caudal.

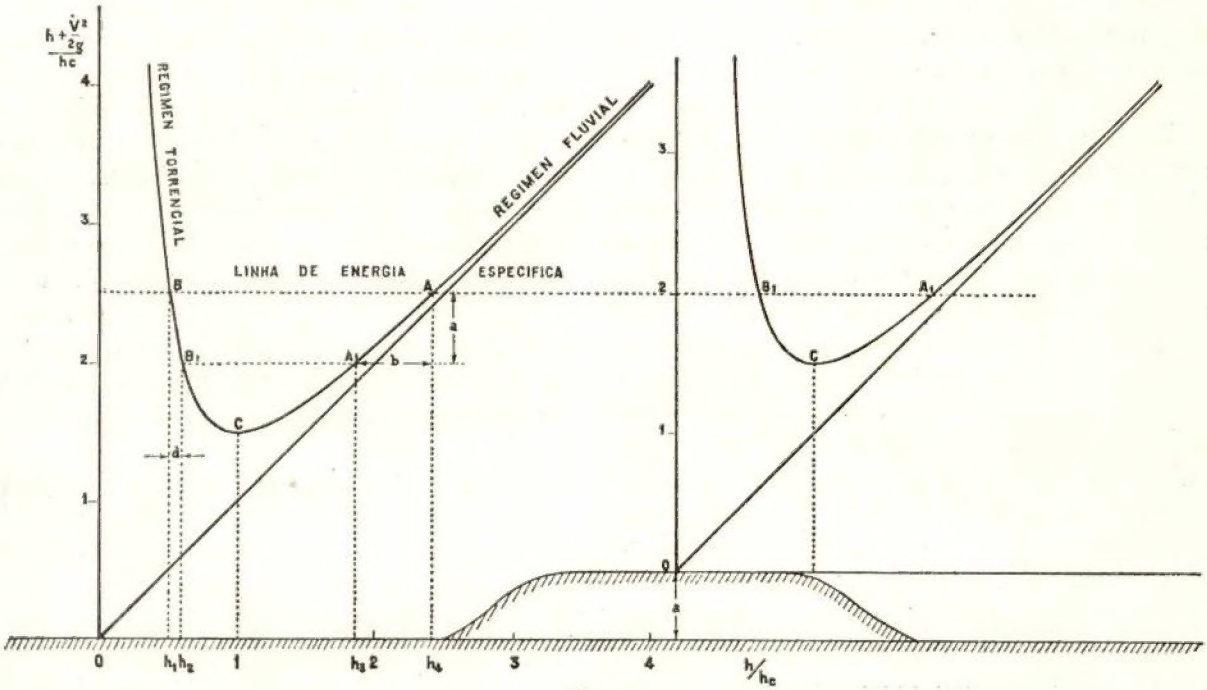



Fig. 12

O diagrama da energia específica é uma curva assimptótica do eixo da energia total e da bissectriz do ângulo formado pelos eixos, a qual representa a energia potencial.

O ramo da esquerda do diagrama corresponde ao escoamento em regime torrencial, em que predomina a energia cinética, e o ramo da direita corresponde ao escoamento em regime fluvial, no qual a energia potencial é a preponderante. O ponto $C$ corresponde ao regime crítico (passagem de um ao outro dos regimes precedentes) em que a energia específica é mínima.

A velocidade do regime crítico, a que se dá o nome de velocidade crítica, tem por valor $V_c = \sqrt{gh}$. Mais adiante veremos que êste valor é também o da celeridade das ondas de gravidade, isto é, a velocidade a que uma perturbação de pressão é transmitida à distância.

Consideremos a linha de energia específica constante traçada na figura. Ela corta o diagrama em dois pontos $A$ e $B$, aos quais correspondem alturas de água respectivamente de $h_4$ e $h_1$. Verifica-se portanto que, para um mesmo valor da energia específica, o escoamento se pode fazer em dois regimes diferentes: fluvial e torrencial. A altura de água para o primeiro caso é evidentemente maior do que para o segundo, variando as velocidades em sentido oposto. Vê-se ainda que uma perda de energia provoca um aumento da altura de água, em regime torrencial, e uma redução da altura de água, em regime fluvial; nas proximidades do regime crítico uma pequena perda de energia provoca uma apreciável variação de altura de água: o escoamento nesta zona não é portanto muito estável observando-se geralmente ondulações da superfície livre.

Vejamos agora o que acontece se na soleira do canal existir um obstáculo de altura $a$, tendo a face superior paralela à soleira e um comprimento suficiente para que o escoamento sôbre êle possa ser considerado paralelo. Façamos uma translacção do diagrama de energia específica de forma que o eixo das abcissas coïncida com a face superior do obstáculo. A linha de energia específica constante corta o novo diagrama em dois pontos $A_1$ e $B_1$. Estes dois pontos estão marcados no diagrama da esquerda, o qual nos vai servir para a discussão.

Examinemos primeiro o caso do escoamento em regime fluvial (pontos $A$ e $A_1$).

A altura de água referida à soleira geral do canal passa de $h_4$ para $h_5$, sofrendo uma redução de $b = h_4 - h_5$; por outro lado a soleira do canal subiu de uma altura $a$, logo o nível da superfície livre fica sendo $h_4 - b + a$. Como a corda $A_1A$ tem uma inclinação inferior a 45°, $b > a$, logo a superfície livre baixa a quantidade $b - a$: *em regime fluvial um obstáculo na soleira do canal provoca uma depressão da superfície livre.*

Examinando a forma do ramo da direita do diagrama vê-se que a inclinação da corda unindo os dois pontos $A$ vai diminuindo quando o regime do escoamento se aproxima do crítico, do que resulta a diferença $b - a$ ir aumentando; ao contrário, quando o escoamento se afasta do regime crítico, a inclinação da corda tende para 45°, logo a diferença $b - a$ tende para zero.

Examinemos agora o caso do escoamento em regime torrencial (pontos $B$ e $B_1$). Do ponto $B$ passa-se para $B_1$, logo a altura de água referida à soleira geral do canal sobe de $h_2 - h_1 = d$; mas como a soleira do canal subiu da altura $a$, o nível da superfície livre passará para $h_1 + d + a$, isto é, sobe da quantidade $d + a$: *em regime torrencial um obstáculo no fundo do canal provoca uma elevação da superfície livre; esta elevação é sempre superior à altura do obstáculo.*

Do exame da figura resulta o seguinte:

Quando o escoamento se afasta do regime crítico $d$ diminue tendendo a elevação da superfície livre para um valor igual à altura do obstáculo; quando o escoamento se aproxima do regime crítico $d$ aumenta podendo, na proximidade do ponto $C$, a elevação da superfície livre ter um valor muito superior ao do obstáculo.

A altura do obstáculo tem neste caso uma importância maior do que no caso precedente, por em regime torrencial a perturbação produzida na superfície livre ter uma amplitude sempre superior à altura do obstáculo.

Resumindo:

1.° — Em regime fluvial um obstáculo na soleira do canal provoca uma depressão da superfície livre;

2.° — Em regime torrencial um obstáculo na soleira do canal provoca uma elevação da superfície livre; esta elevação é sempre superior à altura do obstáculo;

3.° — Quer em regime fluvial quer em regime torrencial, as perturbações da superfície livre provocadas por

um obstáculo na soleira do canal têm amplitudes máximas na vizinhança do regime crítico;

*a*) em regime fluvial, quando a velocidade baixa, a depressão produzida na superfície livre decresce, tendendo no limite para zero.

*b*) em regime torrencial, quando a velocidade aumenta, a elevação produzida na superfície livre decresce, tendendo no limite para um valor igual à altura do obstáculo.

O que se acaba de dizer não é absolutamente geral, sendo apenas aplicável ao caso de pequenos obstáculos, isto é, cuja altura é inferior à diferença das ordenadas da linha de energia específica e do ponto C, ao qual corresponde a energia mínima. Se a altura do obstáculo fôr superior a essa diferença a energia que resta, depois de descontada a perda produzida pelo obstáculo, é inferior à energia mínima necessária para o escoamento do caudal considerado; nesse caso, quer em regime fluvial quer em regime torrencial, forma-se um regolfo a montante do obstáculo. Não entramos nos pormenores dêste caso, por o dos pequenos obstáculos ser o que mais interessa para o presente estudo (irregularidades do fundo do canal, nomeadamente juntas de betonagem).

Vimos que, para um obstáculo de altura dada, as perturbações da superfície livre são maiores quando a velocidade V do escoamento se aproxima da do regime crítico. Como esta tem por valor $V_c = \sqrt{gh}$, a ordem de grandeza dessas perturbações é caracterizada pela relação $\frac{V}{V_c}$ ou seja $\frac{V}{\sqrt{gh}}$.

Esta relação é o paramento fundamental da hidráulica, conhecido pelo número de Froude[1] ou, quando se trata de ondas, pelo número de Mach.

Referindo-se a esta relação podemos dizer:

*1.º Regime fluvial:* o número de Froude é sempre inferior a 1; as perturbações da superfície livre provocadas por um obstáculo no fundo do canal variam no mesmo sentido que o número de Froude.

*2.º Regime torrencial:* o número de Froude é sempre superior a 1; as perturbações da superfície livre provocadas por um obstáculo no fundo do canal variam em sentido contrário ao do número de Froude.

Mais adiante veremos que a velocidade de propagação das ondas de gravidade tem um valor muito próximo de $\sqrt{gh}$. Logo, a velocidade de escoamento é, em regime fluvial, sempre inferior à velocidade de propagação das ondas de gravidade, dando-se o contrário em regime torrencial.

Vimos também que as perturbações da superfície livre variavam no mesmo sentido que a altura do obstáculo. No exemplo apresentado a altura do obstáculo era medida com a mesma unidade que a altura de água. Ora, nos casos correntes da prática, os obstáculos do fundo de um canal são geralmente constituídos pelas asperezas do betão ou pelas juntas de betonagem, tendo portanto uma grandeza absoluta sempre da mesma ordem. A sua grandeza relativa diminue evidentemente quando se aumenta a altura de água no canal. Logo, *as perturbações da superfície livre da água provocadas pelas irregularidades do fundo do canal serão tanto menores quanto maior fôr a altura de água.*

No exemplo da aplicação do diagrama de energia específica supozemos que a face superior do obstáculo era paralela ao fundo e de comprimento suficiente para o escoamento poder ser considerado paralelo. Nas zonas de transição da soleira para o obstáculo o escoamento é curvilíneo: as fôrças centrífugas alteram as pressões que deixam de ter uma distribuïção hidrostática. O fenómeno é então mais complicado e a utilização do diagrama de energia tal como o apresentamos deixa de ser válida.

---

[1] Usualmente o número de Froude apresenta-se sob a forma $F = \frac{V^2/a}{\gamma/\rho}$, sendo *a* uma dimensão linear e, para a água, $\gamma/\rho = g$.

Para o caso de escoamento curvilíneo Lamb [1] dá o seguinte exemplo:

«Suponhamos um canal cuja soleira apresenta ondulações definidas pela harmónica simples:

$$y = -h + \gamma \cos K x$$

(o eixo dos x coïncidindo com a superfície livre, sem perturbações).

A superfície livre apresentará um perfil longitudinal dado por:

$$y = \frac{\gamma}{\cos h . K h - \frac{g}{K V^2} \operatorname{sen} h . K h} \cos K x \quad (1)$$

Se a velocidade do escoamento V fôr inferior à celeridade das ondas,

$$C = \left(\frac{g}{K} \operatorname{tang} h . K h\right)^{\frac{1}{2}}$$

em água tranqüila de profundidade h, e do mesmo comprimento das ondulações do fundo, o denominador é negativo: as ondulações da superfície livre serão invertidas em relação às da soleira (regime fluvial). No caso de $V > C$ as ondulações da superfície livre terão o mesmo sentido que as da soleira, mas com uma escala vertical diferente (regime torrencial). Quando $V = C$ esta solução falha por o denominador se anular; para se obter um resultado satisfatório neste caso, teriam de se considerar fôrças de dissipação de energia.

Esta solução pode ser generalizada pela aplicação do teorema de Fourier, de maneira a poder ser aplicada a canais cuja soleira apresenta irregularidades seguindo uma lei arbitrária.

Assim, se o perfil longitudinal da soleira fôr dado por:

$$y = -h + f(x) =$$

$$= -h + \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} d K \int_{-\infty}^{+\infty} f(\xi) \cos K (x - \xi) \, d\xi$$

o perfil longitudinal da superfície livre será obtido pela sobreposição de termos do tipo (1) devidos aos vários elementos do integral de Fourier:

$$y = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} d K \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(\xi) \cos K (x - \xi)}{\cos h . Kh - \frac{g}{K V^2} \operatorname{sen} h . Kh} \, d\xi$$

Não entramos numa discussão pormenorizada desta generalização por ela ser bastante complicada e longa, e não ter um interêsse prático directo. Apresentamo-la no entanto por ela mostrar como o problema é complicado e até que ponto tem sido levada a investigação matemática do fenómeno hidráulico de que nos ocupamos.

Examinadas ràpidamente as perturbações da superfície livre provocadas por irregularidades do fundo do canal, estudemos agora as perturbações devidas à forma do canal em planta. Ao passo que as primeiras eram locais, as que agora vamos estudar propagam-se a distância.

Como introdução a êste novo aspecto do problema vamos ver primeiro o que acontece quando, em água tranqüila, se dá uma perturbação local da superfície livre (correspondente a uma perturbação de pressão): quando se deixa caír uma pedra na superfície livre de água tranqüila forma-se uma onda circular que se propaga a distância.

Já atrás escrevemos a fórmula geral da propagação ou celeridade das ondas de gravidade na superfície livre de água:

$$C = \left(\frac{g}{K} \operatorname{tang} h . K h\right)^{\frac{1}{2}}$$

Se se trata de uma água pouco profunda, tang h . Kh é sensìvelmente igual a Kh e então a celeridade é dada por $C = \sqrt{g h}$.

Se em vez de água tranqüila se trata de água em movimento, a celeridade da onda combina-se com a velocidade do escoamento e vê-se então a perturbação circular aumentar de diâmetro e avançar no sentido da corrente.

[1] Horace Lamb — Hydrodynamics — 5.ª edição — pág. 386.

Dois casos se têm então que considerar:

1.º — Se a velocidade do escoamento V é inferior à celeridade da onda C (regime fluvial), as posições sucessivas das circunferências apresentam-se como na fig. 13.

2.º — Se a velocidade do escoamento V é superior à celeridade da onda C (regime torrencial), isto é, $V > \sqrt{gh}$, as circunferências (fig. 14) são tangentes a duas rectas, denominadas rectas de Mach, fazendo com a direcção do escoamento um ângulo $\alpha$ denominado ângulo de Mach.

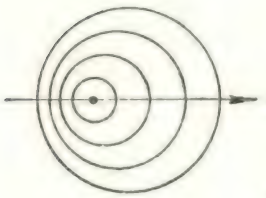


Fig. 13

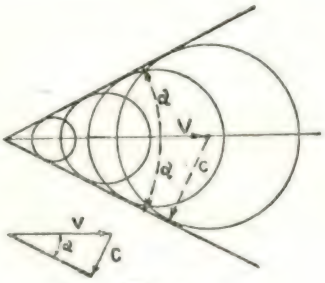



Fig. 14

Vê-se que o seno do ângulo de Mach tem por valor $\operatorname{sen} \alpha = \frac{C}{V}$ ou seja $\operatorname{sen} \alpha = \frac{\sqrt{gh}}{V}$.

O valor do seno do ângulo de Mach é pois o inverso do número de Mach, ou como atrás vimos, do número de Froude.

No caso que nos interessa, de escoamentos e altas velocidades, V é sempre superior a C e o número de Froude ou de Mach é sempre superior a 1.

Se em vez de uma perturbação isolada, houver uma causa permanente de perturbação, o escoamento torna-se permanente, sendo as rectas de Mach o lugar de concentração das perturbações da superfície, formando-se ao longo delas frentes de onda.

Num canal rectilíneo (fig. 15), uma perturbação permanente em O daria origem a duas ondas segundo as rectas de Mach partindo dêsse ponto. Essas ondas, denominadas ondas de Mach, reflectem-se nas paredes e propagam-se a uma distância relativamente grande. A superfície livre apresentaria elevações segundo as rectas traçadas na figura. Nos pontos de cruzamento $M_1$, $M_2$, ... as alturas das ondas somam-se, sendo a elevação dupla da da onda simples.

*Uma onda desta natureza pode ser provocada por um obstáculo ou irregularidade na parede do canal, pelas formas da entrada ou, como vamos agora ver, por qualquer mudança de direcção das paredes do canal, curva, convergência ou divergência.*

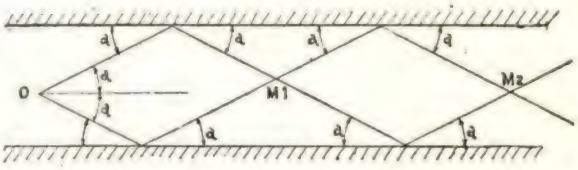



Fig. 15

Na fig. 15 explica-se a simetria das ondas (constância do ângulo $\alpha$) por serem constantes a profundidade da água e a velocidade do escoamento e por êste ser rectilíneo.

Se a direcção do escoamento mudar produz-se uma variação da quantidade de movimento e, conseqüentemente, uma variação da altura de água. O vector velocidade sofre uma decomposição sendo uma das componentes segundo a nova direcção do escoamento e a outra dirigida para a parede exterior. Produz-se assim uma elevação de superfície livre junto da parede exterior e uma depressão junto da parede interior.

A entrada de uma curva é portanto uma fonte de perturbação da distribuïção das pressões.

Se a velocidade de escoamento fôr inferior à da celeridade das ondas de gravidade (regime fluvial), qualquer variação de pressão é transmitida quási imediatamente a todos os filetes líquidos da secção, produzindo-se uma mudança de direcção do escoamento em tôda a secção. As linhas de escoamento tomam direcções aproximadamente paralelas às paredes do canal.

A elevação junto da parede exterior é dada aproximadamente por $\frac{V^2 b}{r g}$, em que b é a largura do canal e r o raio de curva.

Ramponi [1] admitindo três tipos diferentes de escoamento, caracterizados por:

1.º $v = \frac{K}{r}$ (vórtice livre ou potencial cinético)

2.º $v = w\ r$ (vórtice forçado)

3.º $v =$ const. (em tôda a secção)

e supondo que a velocidade media V se regista no eixo da curva, de raio $r_0$, determinou para valores da elevação junto da parede exterior:

$$d_1 = \frac{V^2}{2g}\left[\left(\frac{r_0}{r_1}\right)^2 - \left(\frac{r_0}{r_2}\right)^2\right]$$

$$d_2 = \frac{V^2}{2g}\left[\left(\frac{r_2}{r_0}\right)^2 - \left(\frac{r_1}{r_0}\right)^2\right]$$

$$d_3 = 4{,}60\,\frac{V^2}{2g}\left[\log\frac{r_2}{r_0} - \log\frac{r_1}{r_0}\right]$$

Para uma mesma curva de um dado canal, $d_1$ dá um valor maior do que as outras duas expressões, sendo o valor médio obtido pela aplicação de $d_2$.

Se o raio da curva não fôr muito pequeno os valores obtidos pela aplicação de qualquer das três expressões quási se confundem.

Teòricamente o perfil transversal da superfície livre seria uma recta inclinada mas, devido ao atrito nas paredes êle apresenta-se ligeiramente curvo, com a forma de um S.

Em observações feitas no «Canale Cordenons» Ramponi obteve resultados muito próximos dos calculados a partir das expressões $d_1$, $d_2$ e $d_3$.

Se a velocidade de escoamento fôr superior à celeridade das ondas de gravidade (regime torrencial) a variação das pressões à entrada da curva não pode ser transmitida imediatamente a todo o escoamento. Ela transmite-se aos filetes vizinhos em pontos a jusante, situados nas frentes de onda formando um ângulo $\alpha$ (ângulo de Mach) com a direcção primitiva do escoamento. À entrada da curva formam-se ondas positivas ou de compressão, partindo da parede exterior.

Uma partícula líquida no centro de escoamento só é afectada no seu movimento quando passa sob uma frente de onda. Sofre então uma aceleração normal a essa frente de onda e muda de direcção.

Na fig. 16, caso de uma curva de raio constante, estão indicadas as ondas positivas e negativas; nota-se que as ondas positivas e negativas mudam bruscamente de direcção quando se cruzam e que as linhas de escoamento sofrem acentuadas mudanças de direcção à medida que vão passando sob as ondas.

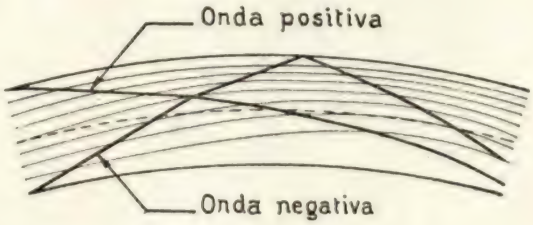



Fig. 16

Neste caso a elevação máxima da superfície livre dá-se junto da parede exterior imediatamente a montante do ponto $M_1$ (fig. 17) onde a onda negativa a atinge e a depressão máxima regista-se junto da parede interior, imediatamente a montante do ponto onde a onda positiva a atinge.

Ippen e Knapp [1] verificaram experimentalmente que a elevação máxima junto da parede exterior tem um valor aproximadamente duplo do atrás indicado para o caso de $V < C$, isto é, $\simeq 2\,\frac{V^2 b}{r g}$, e deram a se-

---

[1] Francesco Ramponi — «Sul moto dell'acqua nei canali aperti ad asse curvilineo» — L'Energia Elettrica — Abril de 1940 — pag. 194.

[1] Ippen, A. T. and Knapp, R. T., Passadena — «A Study of High-velocity Flow in Curved Channels of Rectangular Cross-section» — International Association for Hydraulic Structure Research. First Meeting. 4 a 7-x-1937. pag. 245.

Hunter Rouse — Fluid Mechanics For Hydraulic Engineers — pag. 398.

guinte relação entre a altura máxima h e a altura inicial $h_0$ da água:

$$\frac{h}{h_0} = \frac{V_0^2}{g h_0} \operatorname{sen}^2 \left(\alpha + \frac{\theta}{2}\right)$$

em que $\alpha$ é o ângulo de Mach e $\theta$ o ângulo formado pela primitiva e nova direcção do escoamento (parede rectilínea e a tangente no ponto $M_1$ — fig. 17).

Esta expressão mostra que a elevação da superfície livre junto da parede exterior depende do valor do número de Mach e do ângulo.

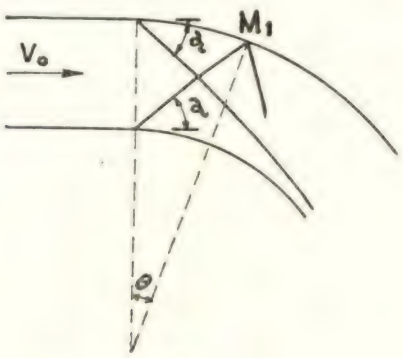



Fig 17

O ângulo $\theta$ é inversamente proporcional ao raio da curva, logo, para um mesmo valor do número de Mach, quanto menor fôr o raio da curva maior será a elevação da superfície livre.

No limite, junto da parede exterior a água atingiria a altura crítica e em seguida o escoamento mudaria de regime e, junto da parede interior, a altura de água desceria a zero produzindo-se em seguida um descolamento da parede. Vê-se um fenómeno muito semelhante a êste na fig. 18.

Na fig. 19 vê-se nìtidamente a formação de ondas positivas e negativas na entrada de uma curva. Nota-se que estas ondas se cruzam, se reflectem nas paredes e se transmitem a distância; no caso desta figura o fenómeno é mais complicado por a forma da secção sofrer mudanças.

No caso de uma convergência das paredes do canal verificam-se elevações da superfície livre junto das duas paredes, formando-se duas ondas positivas; no caso de uma divergência registam-se depressões formando-se apenas ondas negativas.

Nos casos observados na prática o fenómeno é sempre mais complicado por se darem perdas de energia devidas à rugosidade das paredes, às irregularidades da soleira ou das paredes, etc. As alturas de água variam constantemente dando-se variações na velocidade do escoamento e na celeridade das ondas. A superfície livre apresenta além das ondas de Mach, rugas capilares e outras perturbações. Um caso típico de escoamento com muitas perturbações da superfície livre vê-se na fig. 20.

Vimos que em regime fluvial se produzia uma elevação da superfície livre junto da parede exterior de uma curva e uma depressão junto da parede interior, mas que se não formavam ondas de Mach. Estas só começam a aparecer quando a velocidade do escoamento ultrapassa a velocidade de propagação das ondas de gravidade. Dá-se portanto uma mudança quando o escoamento passa pela velocidade crítica, havendo uma transição entre a simples elevação da superfície livre e as ondas de Mach (positivas).

*Próximo da velocidade crítica as ondas de Mach são relativamente largas, altas e têm curvaturas fracas — grande ângulo de Mach* (fig. 21); *quando o número de*

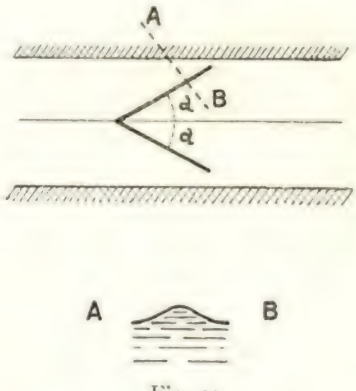



Fig. 21

*Mach aumenta as ondas são menos altas, mais estreitas e têm curvaturas mais fortes — pequeno ângulo de Mach* (fig. 22).

Fig. 18 — Escoamento numa curva, deformado devido à má forma do canal.
Ensaio no laboratório de Passadena — U. S. A.

Fig. 19 — Ondas de Mach ou de forma à entrada de uma curva

Fig. 20 — Escoamento com muitas perturbações da superfície livre

*Nos escoamentos a altas velocidades — grandes valores de número de Mach — as ondas são relativamente pequenas e têm a crista muito marcada.*

As considerações feitas até aqui são aplicáveis apenas para canais de secção rectangular, nos quais a celeridade das ondas tem por valor $C = \sqrt{g\,h}$. Se se modificar a forma da secção os fenómenos que se registam são análogos aos descritos, havendo porém que tomar em conta que o valor da celeridade das ondas se modifica, assim como o valor da velocidade crítica, altura crítica, etc.

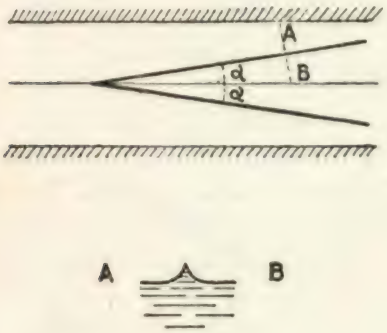



Fig. 22

Acontece freqüentemente nos casos normais da prática, nomeadamente das galerias dos evacuadores de cheias ou das galerias de derivação para a construção de barragens, ser-se obrigado, por motivos de construção, a adoptar secções que se estreitam na parte superior formando abóbada.

A celeridade das ondas passa neste caso a ser dada por $C = \sqrt{g\,\frac{S}{b}}$, em que S é a área da secção molhada e b a largura na superfície livre.

Numa galeria com uma secção desta forma, uma elevação da superfície livre produz um pequeno aumento de S e uma rápida diminuïção de b, aumentando portanto ràpidamente a celeridade das ondas. O valor do número de Mach baixa ràpidamente aproximando-se o escoamento do regime crítico, para o qual, como atrás vimos, as perturbações da superfície livre têm maiores amplitudes; pode até acontecer verificar-se a passagem para o regime fluvial. *Corre-se assim o perigo de se formarem fortes ondulações na superfície livre que podem originar entradas em carga locais da galeria. Dêste facto resultariam fortes perturbações de escoamento, que se tornaria pulsatório, com bôlsas de ar compreendidas entre as cristas das ondulações e ainda, uma redução de caudal.*

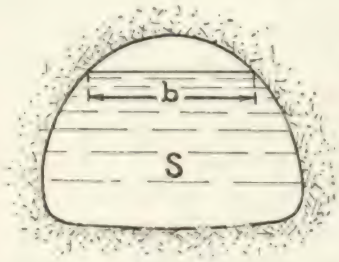



Fig. 23

Quando por motivos de construção se fôr obrigado a adoptar uma secção desta forma, ela deve ser estudada cuidadosamente, prevendo-se uma folga suficiente a-fim-de se evitarem as entradas em carga locais.

Se a galeria fôr prevista para trabalhar eventualmente em carga, ela deve ser estudada de forma a que a entrada em carga se faça a partir de jusante para evitar perturbações do escoamento.

Para evitar a formação de ondas de Mach ou, pelo menos, para as reduzir ao mínimo, devem-se estudar cuidadosamente as formas do canal, incluindo a entrada, executá-las com precisão e, *nas mudanças de direcção das paredes (curvas, convergências, divergências, etc.), adoptar curvaturas tanto quanto possível fracas e progressivas.*

Verifica-se pelo que fica dito que *as perturbações da superfície livre correspondentes a perturbações de escoamento dependem essencialmente das formas dos canais, da perfeição dos revestimentos das paredes e do fundo e do valor do número de Mach.*

Em canais com grande inclinação o fenómeno é ainda mais complicado por a acção da gravidade, por um lado, tender a deformar as ondulações da superfície livre e,

como veremos mais adiante, a acção do ar tender a deformá-las em sentido oposto.

Quando a altura da água é muito pequena dá-se um fenómeno bastante curioso, ao qual se referem diferentes autores, sem contudo lhe darem uma explicação inteiramente satisfatória. Êste fenómeno é conhecido em inglês por «slug-flow» ou «roll-waves». Vaughan-Cornish (1) teve ocasião de o observar várias vezes, sendo a descrição do fenómeno feita por êle a seguinte:

«Era um canal rectilíneo com a soleira em cimento, desempenada, tendo uma largura de $0^m,357$, um comprimento de $685^m$ e uma inclinação máxima de 1/1,75. A poucos metros do início do canal o escoamento transformava-se numa procissão de pequenas ondas, normais ao eixo do canal, com as frentes rebentadas. A profundidade da água era de $5^{mm},8$ nas cristas e de $2^{mm},5$ nas cavas. O espaçamento das cristas aumentava ràpidamente, fixando-se depois em aproximadamente $0^m,60$. Daí por diante não se dava nenhuma alteração.

Uma vez foi lançada uma pequena quantidade de água no canal, do que resultou a altura das ondas e o espaçamento das cristas aumentarem imediatamente. De outra vez foi lançada no canal uma maior quantidade de água, verificando-se o desaparecimento imediato das ondas, as quais foram substituídas por ondas estacionárias. Após a evacuação dêsse excesso de água o escoamento tornou-se instável voltando depois a fazer-se pelas mesmas ondas sucessivas».

Num outro canal com o fundo constituído por calçada um tanto irregular, tendo $0^m,38$ de largura, $410^m$ de comprimento e uma inclinação mínima de 1/14 as coisas passaram-se do seguinte modo:

«A poucos metros a jusante da entrada do canal aparecia uma sucessão de pequenas ondas passando pelo observador em número de 120 por minuto; a altura de água era aproximadamente de $0^m,05$. A $135^m$ a jusante viam-se ondas maiores, mas ainda existiam muitas ondulações pequenas, apresentando-se a superfície livre um tanto desordenada; $38^m$ mais abaixo já não existia essa desordem, mas sim uma sucessão muito regular de ondas em número de 33 por minuto.

Nos restantes $237^m$ do canal a altura das cristas e o espaçamento das ondas ia aumentando, tendo tôdas elas as cristas rebentadas.

No extremo de jusante do canal as ondas chegavam em número de 17 por minuto, parecendo porém que o canal não era suficientemente comprido para que elas atingissem o máximo de altura. O mecanismo do crescimento destas ondas é o seguinte: as ondulações maiores avançam mais ràpidamente do que as pequenas passando sôbre elas, não como se verifica em água profunda, mas de uma maneira diferente; as ondulações pequenas são incorporadas nas maiores que aumentam assim de volume e, conseqüentemente, de velocidade.

Mais tarde, no mesmo canal, foi observado que o escoamento se tornava periòdicamente quási intermitente, sendo quási apenas constituído pelas ondas. Próximo do extremo de jusante as profundidades da água eram respectivamente de $0^m,20$ nas cristas e de $0^m,038$ nas cavas das ondas.

O autor verificou ainda que a celeridade das ondas era muito próximo de $\sqrt{gh}$, em que h era a altura de água sob as cristas».

«O'Brien and Hickox» (1) referem-se a êste fenómeno no capítulo que trata dos regimes incertos de escoamento, mas não lhe dão qualquer explicação.

Rouse (2) também se refere a êste fenómeno e tenta explicá-lo, dizendo no entanto que ainda se não sabe ao certo a que é devida a formação das «roll-waves». Em canais com grande inclinação a componente da acção da gravidade na direcção do escoamento é muito importante dando lugar a uma deformação de escoamento. A causa da formação da onda é ainda muito discutível. É porém certo que se trata de uma instabi-

(1) Vaughan-Cornish, Ocean Waves, p. 92.

(1) «O'Brien and Hickox» — «Applied Fluid Mechanics» — pág. 38.

(2) «Hunter Rouse» — «Fluid Mechanics for Hydraulic Engineers» — 387.

lidade de regime. Seja qual fôr a causa da primeira elevação da superfície livre o que parece certo é que essa pequena onda tem uma velocidade $V_r$ que excede a velocidade média do escoamento V da quantidade C, a qual varia com a inclinação do canal e a altura relativa da elevação (fig. 24). Uma onda maior caminha portanto mais ràpidamente do que uma pequena, do que resulta

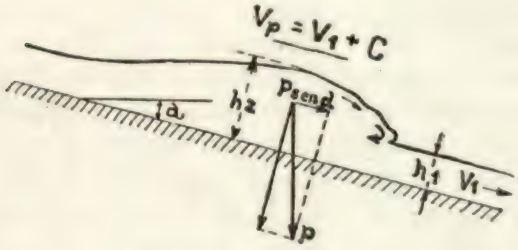



Fig. 24 — Perfil duma «roll-Wave»

a maior alcançar as mais pequenas que correm diante dela. Ao alcançar as ondas mais pequenas a onda maior incorpora-as, aumentando assim de volume e, conseqüentemente, de velocidade. Nas cavas destas ondas a soleira do canal fica quási a sêco, fazendo-se o escoamento intermitente por meio de ondas. Ainda segundo Rouse, a altura mínima da água neste tipo de escoamento tende para zero, mas a altura máxima depende muito do comprimento do canal; se êste não tiver uma grande folga na altura das paredes as cristas destas ondas podem ultrapassar as paredes e o canal transbordar. Tem sido observado que um escoamento dêste tipo se não verifica se a soleira do canal fôr suficientemente irregular.

As descrições dos dois autores citados são concordantes, mas nenhum dêles dá uma explicação satisfatória do fenómeno.

Todos nós temos observado êste fenómeno inúmeras vezes, se bem que numa escala muito pequena: água a correr por uma parede abaixo, escoamento de água da chuva ou de lavagem em pavimentos asfaltados com uma certa inclinação.

Referimo-nos a êste tipo de perturbação da superfície livre por ser um caso de deformação de escoamento devida à grande inclinação do canal e ainda por as frentes das «roll-waves» rebentarem dando lugar a uma forte entrada de ar na água. Na grande maioria dos casos da prática êste fenómeno não se verifica por as alturas de água serem suficientes para evitar a formação de ondas dêste tipo.

*Continua*

# FUNDAÇÕES SÔBRE ESTACARIA

PELO ENG.º CIVIL (U. P.) HORÁCIO DE MOURA

## I — FÓRMULAS

### Introdução

Uma iniciativa municipal de certo vulto, trouxe até nós a necessidade de conhecer êste problema de fundações sôbre estacas com um cuidado maior do que aquele que é dado pôr em casos mais simples.

E por falar em iniciativas municipais, não quero deixar de abrir parêntesis e pensar que as obras municipais, encerrando o coração que dá vida artificial a um conjunto, chamando mesmo a si as liberdades que os seus componentes perdem em seu proveito, deviam tratar os problemas vitais com zêlo excepcional. Deveria haver um corpo de engenheiros, que tivesse influência nas suas decisões e formando um conselho que exerceria a sua acção em determinada zona de influência. Êste conselho longe de se preocupar com política, teria a missão de velar pelo óptimo funcionamento de tôdas as realizações municipais em plena actividade e, com muito mais minúcia, nas crises.

Especialistas tratariam os problemas correntes e as necessidades colectivas ditariam as decisões municipais, sobejamente comprovadas por bases científicas; infelizmente, tenho encontrado dirigentes municipais, aliás pessoas com cursos superiores, que desconhecem quási em absoluto a missão do engenheiro e não vêem nêle mais que um habilidoso que percebe de «riscos». Não, o nosso labor é edificar, restituir os benefícios naturais que se perderam na aglomeração.

Em todos os tempos a grandeza dos povos foi palpável quando se controlaram as fôrças naturais e sempre a vida colectiva inventou morbosidades, inconvenientes e elementos antagónicos que foi e será preciso vencer por meio da ciência. A engenharia não é só o meio construtivo que permite modelar a capricho a crosta terrestre e dominar os elementos naturais; tem em si uma mais alta missão.

O seu verdadeiro objecto é o ensino do espírito.

O engenheiro na contemplação da natureza, interrogando-a para arrancar-lhe o segrêdo das suas leis, recebe uma lição imutável de ordem, de harmonia, de concepção de todos os factores vitais que se seguem num misterioso ritmo que busca a perfeição.

Êste ensino dá-lhe a conhecer o êrro e a verdade, mostra-lhe que o desiquilíbrio e a instabilidade é a desgraça e que o solo numa justa compensação, radica o progresso e a felicidade que se busca na vida.

Exerce-lhe ainda no próprio espírito uma fôrça dominadora das paixões, faz o seu progresso material de agora e torna-o efectivo para seu bem e bem da raça humana.

Entre os organizadores eficientes, nos estadistas notáveis, nos que imperam com verdadeiro amor e sapiência nas massas humanas, figurará sem a menor dúvida o engenheiro em lugar preponderante.

A acção dos municípios seria tanto mais desafogada quanto mais acertadas fôssem as suas manifestações de actividade, visto que a sua obra é a obra do conjunto não sendo o município mais que o administrador e servidor. Tôda a estrutura dum organismo colectivo repousa em base que sòmente poderá ser sólida e robusta se fôr

filha da engenharia e das suas cogitações, que dimanam da mais profunda observação de tudo que nos cerca, tudo analizando em íntima colaboração com os seus companheiros inseparáveis — o raciocínio, a inteligência e a vontade.

A sociedade tem necessidade dos engenheiros que são realizadores das suas aspirações mais caras; quem teimar em separarar-se dos seus conselhos, está votado a infalível fracasso.

Li algures «que assim como o indivíduo ao esquecer as leis, que a natureza sábia e bondosa lhe marca com eleqüência como normas de vida, recebe em forma de enfermidades e dor os resultados da sua transgressão, assim um organismo social quando esquece os preceitos debaixo dos quais se construiu uma obra para bem colectivo, as conseqüências que recebe significam desperdício de grandes somas e complicações sem conta».

* * *

Tratarei êste problema de fundações sôbre estacaria em vários capítulos, que se completarão e principiarei pela enumeração ou dedução das fórmulas mais importantes ou usuais, mostrando-lhes as qualidades e defeitos que nos ocorrerem e comparando-as nos seus resultados práticos. É claro que tudo o que aqui se apresentará pode ser estudado nos livros da especialidade, bem como em revistas que tratam o assunto como: Travaux, Le Genie Civil, Ingenieria, Le Constructeur en Ciment armé, Ingénieur, etc.

*Apresentação do problema*

O conhecimento do terreno em que se vai fundar é condição essencial; um estudo geológico perfeito a pár de conhecimentos geotécnicos complementares, na hipótese de encontrarmos camadas de aluvião, encaminhar-nos-ão os primeiros passos. A carga por unidade de superfície que podemos fazer suportar por uma estaca, depende de variadíssimas circunstâncias, entre as quais poderemos citar:

*a*) Resultado do ensaio do material que constitui as estacas;
*b*) dimensões das estacas;
*c*) resistência que o terreno poderá opor à cravagem;
*d*) resistência lateral.

É bem difícil encontrar uma regra que nos dê o valor exacto da carga admissível para determinada estaca, tendo em linha de conta as condições que atrás se citaram. É fácil, porém, estabelecer fórmulas que nos dão valores limites desta carga e vamos tentar deduzir algumas, comparando-as e tirando conclusões.

Hoje, muitos dos nossos cadernos de encargos não prevêem o ensaio estático das estacas e isto porque durante imenso tempo as resistências dinâmica e estática foram misturadas incompreensìvelmente, tendo elas uma diferenciação bem distinta.

Não é suficiente desde que uma estaca se enterre um determinado número de milímetros sob a carga que admitimos no cálculo, para que logo possamos garantir igual resultado ao conjunto da estrutura, o mesmo que seria admitir igual coeficiente de segurança para uma estaca e para o conjunto das estacas. Além disso é hábito entre nós, para medir a nega, dividir por dez o afundamento observado numa estaca numa série de dez pancadas do martelo, sem nos interessarem as condições especiais em que esta nega é medida; ora, duma maneira geral, êste afundamento que observamos compreende além da parte permanente uma elástica que se, por sistema, se desprezar, corresponde a aceitar uma proporção determinada entre a parte elástica e não elástica da estaca, ou então, que para as mais variadas circunstâncias que se apresentem a parte elástica é de desprezar, o que não será muito verdadeiro. Aparece então a necessidade de obter uma fórmula que nos livre de dificuldades e resolva o problema a contento.

Entre nós é corrente a fórmula dos holandeses; ora esta fórmula, a que adiante nos referiremos, supõe que os corpos, no momento do choque, não têm elasticidade apreciável e na sua aplicação desprezamos a perda de energia devida às deformações

elásticas; contudo contrabalançam-se estes inconvenientes afectando a dita fórmula com um coeficiente igual a 6, coeficiente sem quaisquer bases conhecidas e que cada um faz variar conforme a sua maneira de ver.

*Fórmula Geral*

Se designarmos por $P$ o pêso do martelo-pilão e por $H$ a altura de queda, $PH$ será o trabalho produzido por cada pancada, energia total, que é a soma da energia útil e das perdas observadas. Se designarmos por $R_d$ a resistência dinâmica e por $N$ a nega, a energia útil será

$$I_u = R_d N$$

desprezando, é claro, a energia $(P + p) N$, por ser bastante pequena em presença de $I_u$.

Se juntarmos à energia útil as perdas no choque e as perdas por deformação elástica, obteremos a energia total. Suponhamos que qualquer estaca é animada depois do choque por uma velocidade $v$ e desprezemos a massa do solo que a acompanha; a perda no choque poderá ser representada pela fórmula:

$$\varepsilon_1 = P\,p\,H \frac{1 - n^2}{P + p}$$

em que $p$ representa o pêso da estaca e $n$ um coeficiente. A velocidade do martelo depois do choque é

$$v = \frac{P - n\,p}{P + p}$$

Quando $P < n\,p$ o martelo ressaltará e a energia disponível depois do choque deminuiu, visto que na sua expressão não entra mais que o termo relativo à estaca, cujo afundamento sòmente se pode produzir em virtude da sua fôrça viva. Portanto concluímos que o pêso do martelo pilão deverá ser da ordem de grandeza do pêso da estaca.

A energia total será pois a soma

$$\boxed{P\,H = R_d N + \frac{P\,p\,H\,(1 - n^2)}{P + p} + \frac{R^2_d\,C}{2\,\Omega\,E}}$$

em que $C$ é o comprimento da estaca, $\Omega$ a sua secção e $E$ o módulo de elasticidade. O termo $\frac{R^2_d\,C}{2\,\Omega\,E}$ não é mais que o trabalho elástico, sendo já nossos conhecidos os dois restantes. Se representarmos por $\varepsilon_2$ êste trabalho elástico a fórmula geral poderá escrever-se:

$$P\,H = I_u + \varepsilon_1 + \varepsilon_2$$

*Fórmula de Redtenbacher*

Tiremos da equação geral o valor de $Rd$

$$R_d = \frac{\Omega\,E}{C}\left[-N + \sqrt{N^2 + \frac{2\,C\,P\,(P + n^2 p)\,H}{\Omega\,E\,(P + p)}}\right]$$

Esta fórmula é conhecida pela designação de fórmula de Redtenbacher.

*Fórmula de Kreuter*

Façamos na equação geral $n = 1$; teremos:

$$P\,H = R_d\,N + \frac{1}{2}\,\frac{R^2_d\,C}{\Omega\,E}$$

que é a fórmula de Kreuter.

O segundo termo do segundo membro da equação anterior foi denominado por Kreuter pela sugestiva designação de altura perdida, que representa por $H_o$, aparecendo, por isso, a equação com a forma

$$H = \frac{R_d\,N}{P} + H_o$$

Kreuter propôs-se determinar experimentalmente $H_o$ e para isso mediu várias negas, para diferentes alturas de queda

$$H_1 = \frac{R_d\,N_1}{P} + H_o$$

$$H_2 = \frac{R_d\,N_2}{P} + H_o$$

$$H_1 - H_2 = (N_1 - N_2)\,\frac{R_d}{P}$$

$$R_d = \frac{H_1 - H_2}{N_1 - N_2}\,P$$

Se admitirmos, e isso podemo-lo fazer sem que nos repugne, que $H$ é tal que $N = o$, a fórmula de Krenter sera então

$$H = H_o$$

e eis então a altura perdida, posta em evidência.

*Fórmula de Crandell*

Consideremos ainda a expressão geral e nela façamos $n = o$, virá:

$$PH = R_d N + \frac{PpH}{P+p} + \frac{1}{2}\frac{R_d^2 C}{\Omega E}$$

$$= R_d N + \frac{PpH}{P+p} + \frac{1}{2} R_d N_e \quad (^1)$$

$$= R_d\left(N + \frac{N_e}{2}\right) + \frac{PpH}{P+p}$$

$$R_d = \frac{(P+p)PH - PpH}{\left(P+p\right)\left(N + \frac{N_e}{2}\right)}$$

$$R_d = \frac{P^2 H}{\left(P+p\right)\left(N + \frac{N_e}{2}\right)}$$

Que é a fórmula de Crandell. Nesta fórmula encontramos $N_e$, nega elástica, que não podemos medir rigorosamente; contudo, se medirmos para cada pancada a amplitude do movimento de vai-vem da cabeça da estaca teremos uma avaliação um pouco por excesso.

*Fórmula dos holandeses*

A fórmula dos holandeses é análoga à de Crandell; com efeito, para passarmos desta para aquela basta-nos fazer na fórmula de Crandell $N_e = o$

$$R_d = \frac{P^2 H}{N(P+p)}$$

fórmula que não contém, portanto, a nega elástica cuja avaliação não poderemos fazer directamente, mas tão sòmente por aproximação; vamos, contudo, deduzir outra fórmula que não contenha a nega elástica e possa ter alguma vantagem sôbre a fórmula dos holandeses: Da fórmula de Crandell, tiremos o valor de $H$

$$H = \frac{R_d\left(N + \frac{N_e}{2}\right)\left(P+p\right)}{P^2} =$$

$$= \frac{R_d N(P+p)}{P^2} + \frac{R_d \frac{1}{2} N_e \left(P+p\right)}{P^2}$$

se fôr

$$N = 0 \qquad N_e = N_e^o$$

virá

$$H_o = \frac{R_d N_e^o (P+p)}{2P^2}$$

Subtraindo os valores de $H$ e $H_o$

$$H - H_o = \frac{R_d N(P+p)}{P^2} + \frac{R_d \frac{1}{2} N_e (P+p)}{P^2} - \frac{R_d \frac{1}{2} N_e^o (P+p)}{P^2} =$$

$$= \frac{R_d N(P+p)}{P^2} + \frac{R_d \frac{1}{2}(P+p)}{P^2}(N_e - N_e^o) =$$

$$= \frac{R_d N(P+p)}{P^2} + \frac{R_d \frac{1}{2}(P+p)}{P^2}(\alpha H) \quad (^1) =$$

$$= \frac{R_d N(P+p)}{P^2} +$$

---

(1) $N_e = \frac{R_d C}{\Omega E}$

(1) Se dividirmos o valor de $H$ por $H_o$ veremos que $N_e$ varia linearmente com $H \rightarrow N_l = N_l^o + \alpha H$; e para a altura de queda $H_a$ seria $N_a + \frac{N_e^o}{2} + \frac{\alpha H_a}{2} = \frac{N_e^o}{2} \times \frac{H_a}{H_o}$ donde $\alpha = \frac{\frac{N_e^o}{2}\left(\frac{H_a}{H_o} - 1\right) - N_a}{\frac{H_a}{2}}$.

$$+\frac{R_d \frac{1}{2}(P+p)}{P^2}\left(\frac{\frac{N_e^o}{2}\left(\frac{H_a}{H_o}-1\right)-N_a}{\frac{H_a}{2}}\right)H=$$

$$=\frac{R_d(P+p)N}{P^2}+$$

$$+\frac{R_d(P+p)}{P^2}\cdot\frac{H}{H_a}\left[\frac{N_e^o}{2}\left(\frac{H_a}{H_o}-1\right)-N_a\right]$$

$$=\frac{R_d(P+p)}{P^2}\left[N+\frac{H}{H_a}\left(\frac{N_e^o}{2}\left(\frac{H_a}{H_o}-1\right)-N_a\right)\right]$$

Donde se tira

$$R_d=\frac{P^2(H-H_o)}{P+p}\cdot\frac{1}{N+\frac{H}{H_a}\left[\frac{N_e^o}{2}\left(\frac{H_a}{H_o}-1\right)-N_a\right]}$$

Poderemos escolher sempre os valores de $H_a$, $H_o$ e H de tal forma que seja, sensìvelmente

$$R_d=\frac{(H-H_o)\,P^2}{N\,(P+p)}$$

*Fórmula de Vierendell*

Recorramos ainda à equação geral

$$PH=I_u+\varepsilon_1+\varepsilon_2$$

e procuremos o valor do têrmo $\varepsilon_2$, que será o trabalho total do atrito. Para M. Vierendell não há resistência que se oponha à ponta da estaca e a resistência oposta pelo terreno resulta do atrito sôbre as suas paredes laterais. Assim, poderemos decompor o trabalho útil $W_u$, em duas parcelas que são o trabalho devido à resistência na ponta $W_p$ e o trabalho devido à resistência do atrito $W_a$; se designarmos por $N_p$ e $N_a$ os encurtamentos elásticos devidos a $W_p$ e a $W_a$, teremos que o trabalho correspondente a $N_p$ é

$$W_{N_p}=W_p\,\frac{N_p}{2}$$

e a $N_a$

$$W_{N_a}=\frac{4\,L\,W^2_a}{15\,\Omega\,E}$$

O trabalho devido ao atrito do solo ao longo da estaca é

$$W_a=\frac{1}{15}\,\frac{L\,W^2_a}{\Omega\,E}$$

e o trabalho total de atrito será

$$\varepsilon_2=\frac{4\,L\,W^2_a}{15\,\Omega\,E}+\frac{1}{15}\,\frac{L\,W^2_a}{\Omega\,E}=\frac{1}{3}\,\frac{L\,W^2_a}{\Omega\,E}$$

e substituindo êste valor na equação geral vem, fazendo $W_u=W_a$

e $n=0$

$$R_d=\frac{3\,\Omega\,E}{2\,L}\left[-N+\sqrt{N^2+\frac{4\,P\,L\,H}{3\,\Omega\,E\,(P+p)}}\right]$$

que é a equação de Vierendell

*Fórmula intermediária*

Vamos agora deduzir uma fórmula que, a falta de designação mais apropriada, chamaremos intermediária:

Procedamos como Vierendell; a resistência dinâmica

$$R_d=R_p+R_a$$

o trabalho correspondente a $R_a$ é

$$W_{R_a}=\frac{1}{3}\,\frac{L\,R^2}{E}$$

e o correspondente a $R_p$ será

$$W_{R_p}=\frac{1}{2}\,\frac{L\,(R_d-R_a)^2}{E}$$

e ainda continuando a proceder idênticamente como fizermos para obter a fórmula de Vierendell, virá finalmente

$$R_d=R_a+\frac{\Omega\,E}{L}\left[-N+\right.$$

$$\left.+\sqrt{N^2+\frac{2\,L}{\Omega\,E}\left(\frac{P^2H}{P+p}-R_a\,N-\frac{1}{3}\,\frac{L\,R^2_a}{E}\right)}\right]$$

*Conclusões*

Se imaginarmos uma representação gráfica, em que nos eixos coordenados $OX$ e $OY$ se marquem a resistência dinâmica $R_d$ e a profundidade atingida pela ponta da estaca h , considerando a altura de queda constante e tal que as deformações da estaca possam dizer-se elásticas, obteremos linhas representativas das diversas categorias de terrenos. Assim, se o terreno considerado fôr areia, obteremos uma curva parabólica de eixo horizontal, ou mesmo uma recta inclinada sôbre o eixo dos $xx$ , tanto mais, quanto menor fôr a sua compacidade; podemos obter ainda, neste caso, curvas parabólicas ou hiperbólicas de assimptotas verticais. Quando o terreno oferece uma resistência importante à ponta da estaca, obteremos curvas com assimptotas horizontais; dão curvas parabólicas de eixo horizontal, tôdas as argilas ásperas e muitos terrenos saibrosos; obtemos rectas e parábolas de eixos verticais com vasa e argilas muito plásticas.

Finalmente, se tratamos de estudar um terreno com camadas de diferente resistência e que apareçam alternadamente, obteremos uma curva irregular, que apresenta muitas vezes partes horizontais, características de interrupções do trabalho de cravagem. Tem-se observado muitas vezes que se encontramos negas idênticas em terrenos diferentes, obtemos curvas muito diversas; se, pelo contrário, notamos negas diferentes em terrenos iguais, obtemos curvas que se assemelham.

Esta representação gráfica, auxilia muito os estudos dos diversos terrenos de fundação, apresentando-nos perfeitamente as diversas variações e acidentes, á medida que se vão aprofundando.

Pelos gráficos das sondagens, poderemos saber, aproximadamente, a confiança que teremos no terreno de fundação, que ilustrarão os respectivos cálculos executados segundo as suas preciosas indicações.

Algumas vezes, mesmo quando obtemos negas convenientes, surpreende-nos a observação de sensíveis assentamentos do conjunto; é interessante também notar-se que um repouso na cravagem modifica muitas vezes o valor da nega e já foi observado que uma paragem de um dia transformou a nega, para mais ou para menos, afectando-a dum coeficiente igual a dez.

A nega varia com a velocidade de cravagem e se as pancadas se sucedem com rapidez o solo entra em vibração e a resistência à cravagem deminui bastante; é pois necessário especificar a velocidade de cravagem, sendo preciso que esta velocidade não seja grande especialmente quando trabalhamos com martelos a vapor. Ao aplicarmos a fórmula de Crandell, dos holandeses ou a deduzida em seguida a esta, afectá-las-emos dum coeficiente de segurança. Na fórmula deduzida a seguir à dos holandeses e que foi apresentada no mesmo parágrafo, reparemos que nenhum dos elementos que nela entram nos são estranhos; a principal razão que impõe esta fórmula à dos holandeses é a sua maior exactidão, com efeito:

Vejamos qual será o valor do coeficiente de segurança da fórmula dos holandeses, tomando como base a de Crandell e fazendo variar $N_e$ em função de N

| valor de $N_e$ | coeficiente de segurança |
|---|---|
| 0,1 N | 1,05 |
| 0,5 N | 1,25 |
| 1,0 N | 1,50 |
| 1,5 N | 1,75 |
| 2,0 N | 2,00 |
| 2,5 N | 2,25 |
| 3,0 N | 2,50 |
| 3,5 N | 2,75 |
| 4,0 N | 3,00 |
| 4,5 N | 3,25 |
| 5,0 N | 3,50 |
| 6,0 N | 4,00 |

por onde concluimos que se N é pequeno em função de $N_e$ a fórmula dos holandeses principia a dar-nos preocupações.

M. Crandhall, depois de inúmeros estudos experimentais que seria fastidioso trazer para êste artigo, propôs que a fórmula que

apresentamos preferível à dos holandeses se escreva

$$R_d = \frac{P^2 H}{4\left(N + \frac{N_e}{2}\right)\left(P + p\right)}$$

e se aplique em todos os casos em que a resistência na ponta da estaca é a mais importante. As fórmulas de Redtenbacher, Vierendeel e Intermediária, se fôssem analisadas com atenção verificaríamos que a resistência da estaca parece aumentar quando a nega aumenta; ora isto é contra tudo quanto estamos habituados a considerar, contrário mesmo a tôdas as fórmulas mais correntias incluindo a dos holandeses. Êste facto resulta, se analisarmos a fórmula de Vierendeel, de se supor que a resistência a determinada profundidade é proporcional ao quadrado dessa profundidade.

Em muitos casos a pressão normal à estaca não é proporcional à profundidade; o valor do atrito também não poderá crescer além dum certo limite e para podermos bem aplicar a fórmula de Vierendeel, teremos que a completar com a desigualdade

$$R_d \leqq R_a$$

Na fórmula intermediária vemos perfeitamente a variação de $R_d$ em função de $R_f$, mas ainda supomos que o atrito ao longo da estaca foi todo gasto seja qual fôr a nega a que chegarmos. Finalmente e para conclusão dêste primeiro capítulo, diremos que as fórmulas de Redtenbacher, Crandhall e a dos holandeses aperfeiçoada, se empregarão quando o terreno em que se pretende fundar é muito resistente; a fórmula de Vierendeel, quando a resistência do terreno em função da profundidade não nos apresente anomalias sensíveis e a resistência da estaca não provenha mais do que do atrito. Finalmente, empregaremos a fórmula intermediária em todos os casos que se nos apresentem intermédios entre os apontados.

Dezembro, 1940.

# PUBLICAÇÕES RECEBIDAS

## Publicações periódicas

**PORTUGAL**

A ARQUITECTURA PORTUGUESA E CERÂMICA E EDIFICAÇÃO — Dezembro de 1940.

A GRANJA — N.os 4 e 5.

BOLETIM DA COMISSÃO DAS OBRAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA À CIDADE DE LISBOA — N.º 17.

BOLETIM DA JUNTA NACIONAL DE CORTIÇA — Janeiro de 1941.

BROTÉRIA — Vol. XXXII. Fasc. 2 de 1941.

CLÍNICA, HIGIENE E HIDROLOGIA — Novembro-Dezembro de 1940.

GAZETA DOS CAMINHOS DE FERRO — N.º 1275.

GAZETA DE MATEMÁTICA — N.º 5 de 1940.

GIL VICENTE — Outubro-Dezembro de 1940.

INDÚSTRIA PORTUGUESA — Janeiro de 4941.

OCIDENTE — Janeiro e Fevereiro de 1940.

O INSTITUTO — N.º 97.

PORTUCALE — Novembro-Dezembro de 1940.

RÁDIO-MOÇAMBIQUE — Novembro de 1940.

SEARA-NOVA — N.os 703-705.

**ESPANHA**

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS — Janeiro de 1941.

**CHILE**

REVISTA DE CAMINOS — Setembro-Outubro de 1940.

**ITÁLIA**

ANNALI DEI LAVORI PUBLICI — Outubro de 1940.

L'INGEGNERE — Dezembro de 1940.

REVISTA DEI CATASTO E DEI SERVIZI TECNICI ERARIALI Maio e Agôsto de 1940.

# TECNICA

## Revista de Engenharia

dos

## Alunos do Instituto Superior Técnico

VOL. VII

Números 96 a 113

REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO

ASSOCIAÇÃO DOS ESTUDANTES DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

AV. ROVISCO PAIS, I. S. T.

LISBOA

# TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA, DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

## Índice alfabético dos artigos publicados nos n.os 96 a 113

## A


| Artigo | Autor | N.º | Mês | Ano | Pág. |
|---|---|---|---|---|---|
| Acústica (Algumas palavras sôbre a História de) | Eng.º Visconde Almeida Garrett, (U. P.) | 105 | Novembro | 1939 | 439 |
| Acústica | Idem | 107 | Janeiro | 1940 | 541 |
| Idem | Idem | 113 | Julho | 1940 | 841 |
| Aglomerantes Hidrocarbonados (Terminologia dos) | Eng.º José Mendes Aparício (I. S. T.) | 107 | Janeiro | 1940 | 514 |
| Águas das praias da Parede (Estudo sôbre as) | Eng.º António M. Vasconcelos | 101 | Abril | 1939 | 277 |
| Aquedutos que abastecem Lisboa (Os) | Eng.º João Carlos Alves (I. S. T.) | 111 | Maio | 1940 | 729 |
| Idem | Idem | 112 | Junho | 1940 | 785 |
| Arsenal do Alfeite | Idem | 99 | Fevereiro | 1939 | 175 |
| Axiomática dos espaços de elemento linear | Dr. Mira Fernandes (Prof. I. S. T.) | 113 | Julho | 1940 | 841 |


## B


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Barragem de Bissorte (O descarregador de segurança da) | Eng.º José Felipe Rebêlo Pinto (I. S. T.) | 104 | Julho | 1939 | 393 |
| Betão armado, elaborado pela S. E. T. H. (Cálculo da estrutura duma bancada para um estádio de) | Eng.º Belard da Fonseca (Prof. I. S. T.) | 108 | Fevereiro | 1940 | 579 |
| Idem | Idem | 109 | Março | 1940 | 631 |
| Betão Armado (Tabela para a determinação das tensões em secções rectangulares de) | Eng.º Fernando Vasco Costa (I. S. T.) | 113 | Julho | 1941 | 836 |


## C


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Caldeiras de alta pressão | H. Vila Nova do Vale (Do Curso de Engenharia Mecânica) | 108 | Fevereiro | 1940 | 610 |
| Caldeira (Como se projecta uma caldeira) | António Gouveia Portela (Do Curso de Engenharia Mecânica) | 109 | Março | 1940 | 667 |
| Caldeira de vapor (Cálculo duma) | José Faria da Fonseca Santos (Do Curso de Engenharia Mecânica) | 110 | Abril | 1940 | 713 |
| Idem | Idem | 111 | Maio | 1940 | 752 |
| Idem | Idem | 112 | Junho | 1940 | 818 |
| Cais acostável em Vila Franca de Xira (A reconstrução do) | Eng.º Abel de Noronha e Andrade (U. P.) | 96 | Novembro | 1938 | 19 |
| Caudais por meio do Cenal Venturi ou medidor de caudal por meio de ressalto (Medições de) | Eng.º A. Abecasis Manzanares (I. S. T.) | 105 | Novembro | 1939 | 458 |
| Caudal máximo no caso de um escoamento plano permanente com filetes curvilíneos (O teorema de simultaneidade do mínimo da energia total e do) | Idem | 113 | Julho | 1940 | 834 |
| Central eléctrica e rêde de distribuição da cidade da Beira | Eng.º Sérgio Medeiros (I. S. T.) | 105 | Novembro | 1939 | 444 |

| Artigo | Autor | N.º | Mês | Ano | Pág. |
|---|---|---|---|---|---|
| Cimento (Injecções de) | Eng.º Ricardo Teixeira Duarte (I. S. T.) | 106 | Dezembro | 1939 | 482 |
| «Cinearte» (O novo cinema) | Eng.º Angelo Ramalheira (A. I. G.) | 110 | Abril | 1940 | 687 |
| Circuitos de ressonância | Prof. C. Ferrer Moncada | 103 | Junho | 1939 | 375 |
| Classe (Espírito de) | Eng.º António Metello de Nápoles (I. S. T.) | 100 | Março | 1939 | 186 |
| Colectores de esgôto de secção circular (Cálculo dos) | Eng.º José Gomes Alvarez (I. S. T.) | 104 | Julho | 1939 | 400 |
| Comandar (A arte de) | Eng.º La Bacqueyrisse | 113 | Julho | 1940 | 851 |
| Compressão simples (Possibilidade dum ábaco para o cálculo dos suportes reforçados de Secção Circular) | Eng.º Daniel Vieira Barbosa (U. P.) | 110 | Abril | 1940 | 705 |
| Condutibilidade de soluções muito concentradas (Considerações de ordem prática e teórica sôbre a) | Dr. Artur de Sousa | 108 | Fevereiro | 1940 | 603 |
| Congresso de Química Industrial (O XVII) | Prof. Charles Lepierre | 97 | Dezembro | 1938 | 56 |
| Construção metálica (A traçagem de) | José Faria da Fonseca Santos e José Olaia Lopes Montoya (Do Curso de Engenharia Mecânica) | 107 | Janeiro | 1940 | 550 |
| Curie (Homenagem a Pierre e Marie) | Prof. Charles Lepierre | 99 | Fevereiro | 1939 | 131 |


# D


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Derivadas parciais (Sistemas canónicos às) | Dr. Mira Fernandes (Prof. do I. S. T.) | 98 | Janeiro | 1939 | 87 |
| Idem | Idem | 99 | Fevereiro | 1939 | 140 |
| Desabamento dum trôço da estrada de Outão, nas proximidades de Setúbal | Francisco Silveira Ramos (Do Curso de Engenharia de Minas) | 110 | Abril | 1940 | 723 |
| Directores da «Técnica» (De antigos) | | 100 | Março | 1939 | 188 |
| Duas palavras | Eng.º Herculano de Carvalho (Prof. do I. S. T.) | 110 | Março | 1939 | 187 |


# E


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Electrificação rural (O problema técnico da) | Eng.º Paulo de Barros (I. S. T.) | 100 | Março | 1939 | 200 |
| Elettrotecnica italiana Affermazioni dell'industria) | Prof. Eng.º Basílio Focaccia | 112 | Junho | 1940 | 771 |
| Engenheiro, Dirigente Social (O) | Eng.º Vicente Ferreira (Prof. do I. S. T.) | 103 | Junho | 1939 | 345 |
| Ensecadeira de montante para a construção de uma barragem (Determinação da altura da) | Eng.º Castro Cabrita (I. S. T.) | 100 | Março | 1939 | 191 |
| Equações de Estrutura | Dr. Mira Fernandes (Prof. do I. S. T.) | 96 | Novembro | 1938 | 1 |
| Estatística das instalações eléctricas em Portugal | Eng.º Ferreira Dias (Prof. do I. S. T.) | 97 | Dezembro | 1938 | 58 |
| Estabilidade no sifão de Sacavém (Ensaios de) | Eng.º Amílcar de Melo (E. M.) | 107 | Janeiro | 1940 | 531 |
| Estradas (Assuntos de) | Eng.º José Pinto Machado (I. S. T.) | 104 | Julho | 1939 | 118 |
| Evolution continue des variables physiques (Sur l') | António Gião | 101 | Abril | 1939 | 241 |


# F


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fôlha de Flandres (ferro estanhado) usada na indústria portuguesa de conservas de peixe (Estudo da) | Prof. Charles Lepierre | 100 | Janeiro | 1940 | 527 |
| Fotográfico do I. S. T. (Concurso) | | 109 | Março | 1940 | 673 |
| Funções quadráticas (Sôbre a integração das) | Dr. Cortezão Pais | 100 | Março | 1939 | 223 |

| Artigo | Autor | N.º | Mês | Ano | Pág. |
|---|---|---|---|---|---|
| Fundações da Igreja de Nossa Senhora de Fátima, em Lisboa (As) . . . . . | Eng.º Ricardo Teixeira Duarte (I. S. T . . . . . | 110 | Abril | 1940 | 677 |

## G

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Gases do túnel do Rossio (Análise dos) . | Eng.º Pio Leite (I. S. T.) . . . . . | 90 | Janeiro | 1939 | 90 |
| Geológico sôbre o escorregamento dum trôço da estrada Setúbal-Outão (Estudo) | Eng.º Mariano Feio (I. S. T.) . . . | 113 | Julho | 1940 | 870 |

## H

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Hidráulica (A contribuïção italiana no campo da) . . . . . | Prof. Girolamo Ippolito . . . . . | 102 | Maio | 1939 | 293 |
| Hidráulica Fluvial (O problema do transporte sólido e a sua importância na) . . | Eng.º Alberto Abecasis Manzanares (I. S. T.) . . . . . | 109 | Março | 1940 | 659 |
| Hidrogenação do carvão (Efeito catalítico das cinzas na) . . . . . | Prof. Herculano de Carvalho (Director I. S. T.), Eng.º J. Almeida Torres (A. M. Freibug), Henrique Santos (I. I. L.) . . . . . | 106 | Dezembro | 1939 | 171 |

## I

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Instalações eléctricas em Portugal (Estatística das) . . . . . | Eng.º Ferreira Dias (Prof. I. S. T.) . | 106 | Dezembro | 1939 | 486 |
| Instituto Eléctrotécnico italiano (Um moderno) . . . . . | . . . . . | 96 | Novembro | 1938 | 27 |
| Impianti idroelettrici . . . . . | Prof. Girolamo Ippolito . . . . . | 102 | Maio | 1939 | 308 |
| Ippolito (Prof. Girolamo) . . . . . | Prof. Herculano Carvalho, Director I. S. T . . . . . | 102 | Maio | 1939 | 291 |

## J

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Jonction Nord-Midi à Bruxelles (Travaux de la) . . . . . | Prof. G. Magnel . . . . . | 97 | Dezembro | 1938 | 41 |

## L

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lagrange (A propósito da matemática) . . | Prof. Charles Lepièrre . . . . . | 103 | Junho | 1939 | 352 |
| Lâmpada de néon como estabilizadora de tensões contínuas . . . . . | João de Lacerda (Do Curso de Engenharia Eléctrotécnica. . . . . | 97 | Dezembro | 1938 | 80 |
| Levantamento estereofotogramétrico terrestre na escala 1:250 do local para a barragem de Santa Luzia . . . . . | Eng.º Carvalho Xerez (I. S. T.) . . | 100 | Março | 1939 | 202 |
| Linearidade . . . . . | Dr. Mira Fernandes, Prof. I. S. T. . | 107 | Janeiro | 1940 | 519 |

## M

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Monumento ao Infante de Sagres (Projecto dum) . . . . . | Eng.ºs Celestino da Costa e H. Granger Pinto . . . . . | 98 | Janeiro | 1939 | 92 |

| Artigo | Autor | N.º | Mês | Ano | Pág. |
|---|---|---|---|---|---|
| Mundo Técnico (Do) | | 96 | Novembro | 1938 | 34 |
| Idem | | 97 | Dezembro | 1938 | 82 |
| Idem | | 98 | Janeiro | 1939 | 125 |
| Idem | | 99 | Fevereiro | 1939 | 182 |
| Idem | | 100 | Março | 1939 | 234 |
| Idem | | 101 | Abril | 1939 | 286 |
| Idem | | 102 | Maio | 1939 | 340 |
| Idem | | 103 | Junho | 1939 | 389 |
| Idem | | 104 | Julho | 1939 | 421 |
| Idem | | 105 | Novembro | 1939 | 467 |
| Idem | | 106 | Dezembro | 1939 | 513 |
| Idem | | 107 | Janeiro | 1940 | 557 |
| Idem | | 108 | Fevereiro | 1940 | 615 |
| Idem | | 109 | Março | 1940 | 674 |
| Idem | | 110 | Abril | 1940 | 724 |
| Idem | | 111 | Maio | 1940 | 766 |
| Museu de Engenharia Civil. Laboratório de ensaios de Materiais | Eng.º José Belard da Fonseca (Prof. do I. S. T.) | 100 | Março | 1939 | 189 |


# N


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Nivelamento dos túneis do Canal do Tejo (Métodos usados para o estabelecimento da directriz e para o) | Eng.º Amílcar de Melo (E. M.) | 109 | Março | 1940 | 645 |
| Notas Bibliográficas | | 96 | Novembro | 1938 | 38 |
| Idem | | 97 | Dezembro | 1939 | 83 |
| Idem | | 98 | Janeiro | 1939 | 128 |
| Idem | | 99 | Fevereiro | 1939 | 183 |
| Idem | | 100 | Março | 1939 | 238 |
| Idem | | 101 | Abril | 1939 | 289 |
| Idem | | 102 | Maio | 1939 | 340 |
| Idem | | 103 | Junho | 1939 | 391 |
| Idem | | 104 | Julho | 1939 | 427 |
| Idem | | 105 | Novembro | 1939 | 468 |
| Idem | | 106 | Dezembro | 1940 | 517 |
| Idem | | 107 | Janeiro | 1940 | 563 |
| Idem | | 110 | Abril | 1940 | 645 |
| Idem | | 111 | Maio | 1940 | 727 |
| Idem | | 112 | Junho | 1940 | 769 |
| Idem | | 113 | Julho | 1940 | 829 |
| Novamente: «Ad multos annos!» | Eng.º J. Fernando de Sousa | 100 | Março | 1939 | 186 |


# O


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ofício (À margem do) | Eng.º Hermes Guerreiro Bôto | 107 | Janeiro | 1940 | 547 |


# P


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pioneiros da eléctricidade (Os) | Hilário Cruz (Do Curso de Engenharia Electrotécnica) | 101 | Abril | 1939 | 282 |
| Poggendorff (Algumas considerações sôbre o método de) | Vasco Mendes de Sousa (Do Curso de Engenharia de Minas) | 108 | Fevereiro | 1940 | 610 |
| Pôrto de Vila Real de Santo António (O projecto e a execução da primeira fase das Obras do) | Eng.º Duarte Abecasis (I. S. T.) | 99 | Fevereiro | 1939 | 142 |
| Pôrto de Aveiro (O problema do melhoramento do acesso ao) | Idem | 108 | Fevereiro | 1940 | 567 |
| Idem | Idem | 109 | Março | 1940 | 621 |
| Ponto Final das reacções monomoleculares (Determinação do) | Dr. Artur de Sousa | 113 | Julho | 1940 | 845 |
| Potência e energia eléctrica activa e reactiva (Dos métodos de medida de) | Eng.º Benjamim Mendonça (I. S. T.) | 111 | Maio | 1941 | 737 |

| Artigo | Autor | N.º | Mês | Ano | Pág. |
|---|---|---|---|---|---|
| Idem | Idem | 112 | Junho | 1940 | 790 |
| Publicações recebidas | | 96 | Novembro | 1938 | 39 |
| Idem | | 97 | Dezembro | 1938 | 84 |
| Idem | | 98 | Janeiro | 1939 | 128 |
| Idem | | 99 | Fevereiro | 1939 | 184 |
| Idem | | 100 | Março | 1939 | 289 |
| Idem | | 101 | Abril | 1939 | 290 |
| Idem | | 102 | Maio | 1939 | 341 |
| Idem | | 103 | Junho | 1939 | 392 |
| Idem | | 104 | Julho | 1939 | 428 |
| Idem | | 105 | Novembro | 1939 | 469 |
| Idem | | 106 | Dezembro | 1939 | 517 |
| Idem | | 107 | Janeiro | 1940 | 565 |
| Idem | | 108 | Fevereiro | 1940 | 619 |
| Idem | | 109 | Março | 1940 | 676 |
| Idem | | 110 | Abril | 1940 | 728 |
| Idem | | 111 | Maio | 1940 | 769 |
| Idem | | 112 | Junho | 1940 | 829 |
| Idem | | 113 | Julho | 1940 | 975 |

# R

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Relatividade, Ondas e Corpúsculos | Prof. António da Silveira | 105 | Novembro | 1939 | 429 |
| Relatório da Direcção e Administração da Técnica, do ano lectivo de 1937-38 | | 96 | Novembro | 1938 | 28 |
| Reservatório elevado de betão armado (Cálculo de um) | Eng.º Henrique Pinto da França (I. S. T.) | 96 | Novembro | 1938 | 7 |

# S

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Sistemas hiperstáticos com o auxílio de modelos reduzidos (Cálculo dos) | Eng.º Edgard Cardoso (U. P.) | 106 | Dezembro | 1939 | 474 |

# T

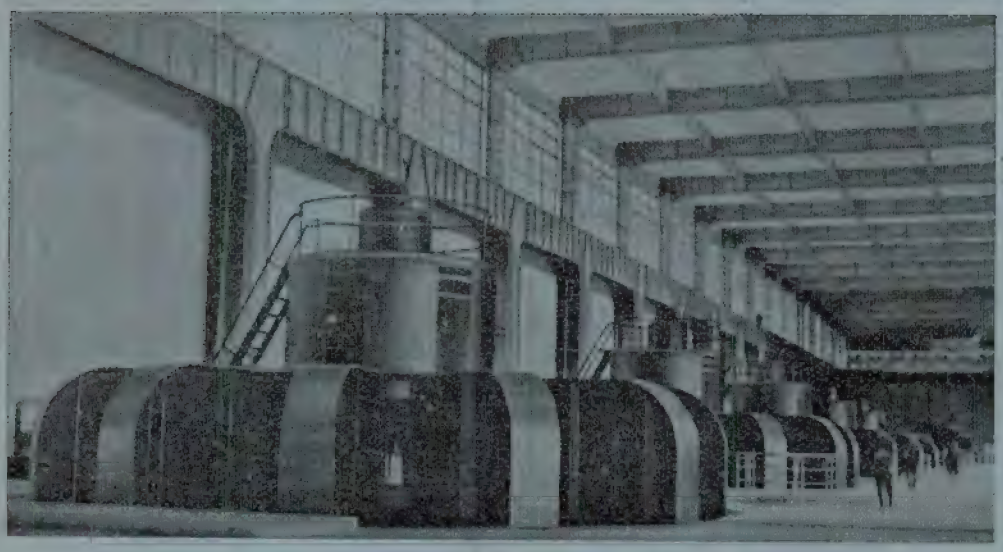
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tarifas de energia reactiva | Eng.º J. Ferreira Dias (Prof. do I. S. T.) | 100 | Março | 1939 | 209 |
| Idem | Idem | 103 | Junho | 1939 | 353 |
| Técnica, N.º 100 | | 100 | Março | 1939 | 185 |
| Termas de Monte-Real (Apontamentos sôbre as) | Eng.º Luiz de Saldanha Oliveira e Sousa (I. S. T.) | 98 | Janeiro | 1939 | 114 |

# V

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Vida comercial e industrial | Eng.º José Mendes Leal (Prof. do I. S. T. | 101 | Abril | 1939 | 273 |
| Vida Escolar e Associativa | | 98 | Janeiro | 1939 | 124 |
| Idem | | 100 | Março | 1939 | 226 |
| Idem | | 102 | Maio | 1939 | 336 |
| Idem | | 103 | Junho | 1939 | 387 |
| Idem | | 104 | Julho | 1939 | 421 |
| Idem | | 105 | Novembro | 1939 | 463 |
| Idem | | 107 | Janeiro | 1940 | 556 |
| Idem | | 109 | Março | 1940 | 672 |
| Idem | | 112 | Junho | 1940 | 828 |
| Vigas em T de betão armado (Nomograma para a determinação da posição da linha neutra nas) | Eng.º Fernando Vasco Costa (I. S. T.) | 96 | Novembro | 1938 | 26 |
| Vigas hiperstáticas de momento de inércia variável | Eng.º Edgar Cardoso (U. P.) | 102 | Maio | 1939 | 319 |

# GENERAL ELECTRIC

## Schenectady, N. Y.



Central hidroeléctrica com 5 geradores General Electric de 77.500 kVA 88 r. p. m. cada um

Motores e dínamos. Alternadores. Transformadores. Aparelhos para alta e baixa tensão. Centrais termo e hidroeléctricas. Electrificação de fábricas. Tracção eléctrica. Máquinas para soldadura eléctrica. Automotoras Diesel-Eléctricas. Turbinas de vapor. Máquinas frigoríficas. Aparelhos de iluminação. Instrumentos de medida. Comandos eléctricos especiais para fábricas téxteis, fábricas de papel, etc.

**THOMSON**
**GENERAL ELECTRIC**

**Portuguesa, L.da**

LISBOA
**Rua do Norte, 5**

Telef. 28135-28136

Granulados de mármores

para exportação e para o país

Mosaicos de granulados de mármore

*OS MAIS BONITOS*
*OS MAIS RESISTENTES*
*OS MAIS VANTAJOSOS*

Soc. Portuguesa CAVAN

Rua D. Estefania, 42

*Telefone 47812 — Lisboa*

FILIAL NO PÔRTO:

PRAÇA DA BATALHA, 90, 2.º

PUBLICAÇÕES DA TÉCNICA

Normas e Regulamentos para Instalações Eléctricas

Viga de Comprimento finito assente sôbre terreno elástico
Prof. G. MAGNEL

Tabelas de Resistência de Materiais
Prof. VICENTE FERREIRA

Ábacos para o Cálculo de Betão Armado
Eng. VASCO COSTA

Regulamento do Betão Armado
(1929)

Regulamento de Pontes Metálicas
(1935)

**A' venda na redacção da TECNICA**

Sika

— Uma —
Impermeabilização perfeita obtem-se com

SIKA

**nas construções urbanas, industriais e obras hidráulicas**

**SUPRIME HUMIDADES**
**EVITA INFILTRAÇÕES**

FABRICANTES:
KASPAR WINKLER & C.º
**Zürich — Altstetten (Suissa)**

AGENTE-DEPOSITÁRIO EM PORTUGAL:
CARLOS ABREU BAPTISTA
**Rua da Emenda, 111, 1.º—LISBOA**
**Telefone 26902**

EMULSÕES

de asfalto para estradas

Todos os tipos e percentagens

**TELEFONE 20879**
**Telegramas: Epalda—LISBOA**

**FÁBRICA EM SACAVÉM**

# Informações gratuitas

sôbre

**exportadores alemães**

de

Instalações industriais / Máquinas de tôda a espécie / Produtos técnicos / Material eléctrico / Artigos com patente registada

## Indicações Grátis de Representações

de importantes fábricas alemãs

por

**PROGRESSUS GMBH • BERLIM SW 68**
**MARKGRAFENSTRASSE 21**

A PROGRESSUS GmbH publica regularmente na revista

**O PROGRESSO da Engenharia Alemã**

informações exactas e interessantes sôbre os progressos e êxitos da indústria técnica alemã

Peçam exemplares grátis e digam-nos em que ramo especial trabalham

As revistas «Progressus» são publicadas em sete línguas diferentes, ou seja em alemão, português, francês, inglês, espanhol, italiano e russo.

# OFICINAS E LABORATÓRIOS

DO

# INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

As oficinas pedagógicas do Instituto Superior Técnico, de CARPINTARIA DE MOLDE, de INSTRUMENTOS DE PRECISÃO e de ELECTROTÉCNICA, fornecem todo o género de material escolar e de demonstração para o ensino técnico. Nos laboratórios de QUÍMICA ANALÍTICA, FÍSICA INDUSTRIAL E DE MINERALOGIA executam-se análises para o público

**Para quaisquer informações, dirigir-se ao secretário da comissão executiva**

EMPRÊSA DE SONDAGENS E FUNDAÇÕES, L.DA

COM

# Eng. Ricardo E. Teixeira Duarte

(um quarto de século de especialização técnica)

Sondagens geológicas

—

Poços artezianos

—

Rebaixamentos do nível freático

—

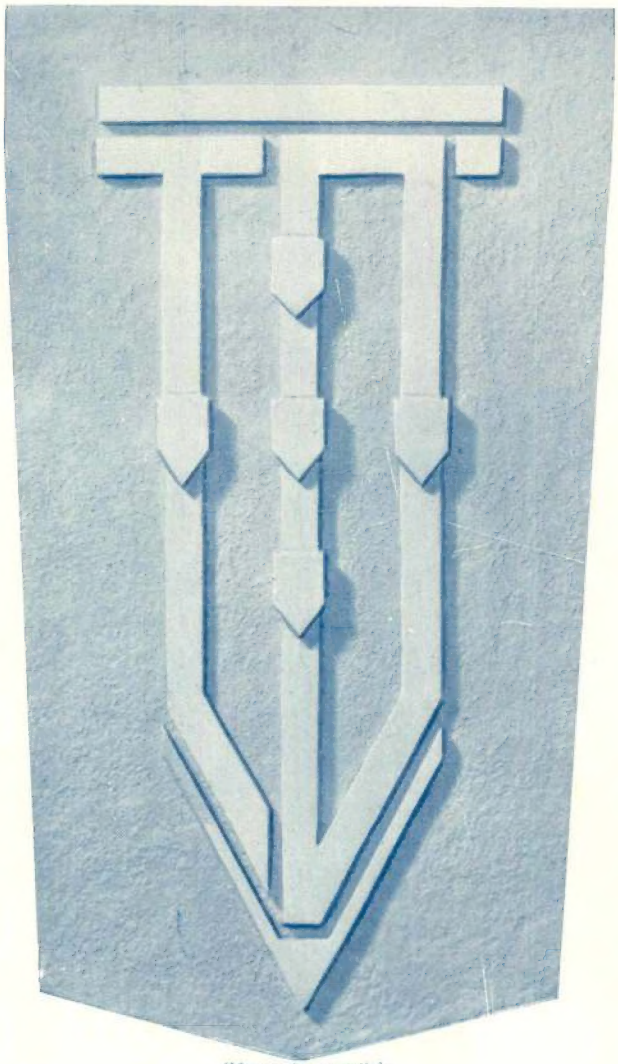
Consolidações do solo

—

Impermeabilização de rochas

—

Captações de água subterrânea



(Marca de garantia)

Fundações de todos os géneros

—

Alicerces económicos

—

Estacas de todos os tipos

—

Consolidação de más fundações

—

Obras hidráulicas

—

Obras subterrâneas

LISBOA — RUA AUGUSTA, 280, 3.º E 4.º

TELEFONE 2 3962

SOCIEDADE ANÓNIMA

# BROWN, BOVERI & CIE.

## BADEN (SUISSA)

**Representante geral para Portugal e Colónias:**

## EDOUARD DALPHIN

**Escritório Técnico: Rua de Passos Manuel, 191, 2.º // PORTO // Tel. 2 411**

Máquinas eléctricas, transformadores, mutadores, aparelhos para alta e baixa tensão. Montagem completa de centrais termo e hidro-eléctricas. Electrificação de fábricas e de caminho de ferro. Locomotivas, e auto-motoras eléctricas e Diessel-eléctricas. Máquinas de extracção. Turbinas a vapor. Geradores de vapor Velox. Máquinas frigoríficas. Grupos e transformadores para a soldadura pelo arco. Fornos eléctricos. Comandos eléctricos especiais para tôdas as máquinas utilizadas nas Fábricas de Fiação, Tecelagem, Acabamentos, Estamparia, Cimento, Moagem, etc.

**Barragem do Ermal, da Companhia Electro-Hidráulica de Portugal, com 20 milhões de metros cúbicos de capacidade da albufeira. Na parte central, duas comportas automáticas, da casa construtora «Ateliers des Charmilles», de 9 × 5 metros, para a evacuação das cheias. Em baixo, a central automática de Guilhofrei (I) com uma turbina vertical tipo Kaplan (Ateliers des Charmilles) de 2750 cavalos e o canal de condução da água à central do Ermal (central II) com uma turbina vertical tipo Francis de 6250 cavalos (Ateliers des Charmilles) e duas horizontais (Escher-Wyss) de 500 e 1500 cavalos. Tôda a parte eléctrica (alternadores, transformadores, aparelhos de 2000 e 30000 Volts) da casa BROWN, BOVERI & Cie.**